

ÜBER DAS VERHALTEN DER PULSFREQUENZ
WÄHREND UND NACH SUBMAXIMALER ARBEIT
BEI KINDERN UND JUGENDLICHEN

von

CHRISTIAN HOCKE

1961



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555212_0109

AUS DER KINDERPOLIKLINIK DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN
DIREKTOR: PROFESSOR DR. G. WEBER

ÜBER DAS VERHALTEN DER PULSFREQUENZ WÄHREND UND
NACH SUBMAXIMALER ARBEIT BEI KINDERN UND JUGENDLICHEN

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät der
Ludwig - Maximilians - Universität zu München

vorgelegt von
Christian H o c k e
aus
Breslau

München 1961

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen
Fakultät der Universität München

Berichterstatter: Professor Dr. Th. Hellbrügge

Mitberichterstatter: Professor Dr. G. Weber

Dekan: Professor Dr. Dr. H. Eyer

Tag der mündlichen Prüfung: 9. Mai 1961



Meinen Eltern
in Dankbarkeit gewidmet

Inhaltsübersicht

	Seite
I. Das Verhalten der Pulsfrequenz bei Arbeit von Kindern und Jugendlichen	11
II. Methoden zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit mit Hilfe von Pulsfrequenzmessungen	13
1) Methoden unter Verwendung undefinierter Belastungen	13
2) Methoden mit definierten Belastungen zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit	16
III. Eigene Untersuchungen	20
1) Methodik	20
a) Untersuchungsgut	20
b) Meßanordnung	25
c) Versuchsanordnung	27
d) angewandte statistische Methoden	28
2) Ergebnisse	30
a) Das Verhalten der Pulsfrequenz während und nach submaximaler Arbeit	30
b) Zur Frage des Ermüdungspulsanstieges	39
c) Die Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit mit Hilfe von Pulssummen	43
aa) Die Abhängigkeit verschiedener Pulssummen vom Lebensalter	46
bb) Die Abhängigkeit verschiedener Pulssummen von der körperlichen Entwicklung	57
cc) Die Abhängigkeit der Pulssummen von der Reifeentwicklung	68

	Seite
3) Diskussion der Ergebnisse	73
IV. Zusammenfassung	77
V. Literaturverzeichnis	79
VI. Lebenslauf	83

Übersicht über die Abbildungen und Tabellen

Abbildungen:

Seite

Abb. 1	Veränderungen der Arbeitspuls- und Erholungspulswerte der Jungen in Abhängigkeit vom Lebensalter	31
Abb. 2	Veränderungen der Arbeitspuls- und Erholungspulswerte der Mädchen in Abhängigkeit vom Lebensalter	33
Abb. 3	Beziehung zwischen den Werten der Arbeitspulssumme und dem Alter der Versuchspersonen	45
Abb. 4	Beziehung zwischen den Werten der Arbeitspulssumme und der Körpergröße der Versuchspersonen	58
Abb. 5	Beziehung zwischen den Werten der Arbeitspulssumme und dem Körpergewicht der Versuchspersonen	59
Abb. 6	Beziehung zwischen den Werten der Arbeitspulssumme und der Körperoberfläche der Versuchspersonen	60
Abb. 7	Beziehung zwischen den Werten der Erholungspulssumme und der Körperoberfläche der Versuchspersonen	61
Abb. 8	Beziehung zwischen den Werten der Gesamtpulssumme und der Körperoberfläche der Versuchspersonen	62
Abb. 9	Beziehung zwischen den Werten der Erholungspulssumme und den Werten der Arbeitspulssumme der gefundenen Versuchspersonen	75

<u>Tabellen</u>	Seite
Tab. 1 Gegenüberstellung von Atem- und Kreislaufgrößen eines Erwachsenen denen eines Kindes bei Ruhe und körperlicher Arbeit	11
Tab. 2 Aufgliederung des Untersuchungsgutes nach Alter, Geschlecht und Beruf	21
Tab. 3 Vergleich von Körpermaßdaten unserer Kinder und Jugendlichen mit den von VOGT zusammengestellten Normwerten	22/23
Tab. 4 Aufgliederung des Untersuchungsgutes nach Reifestufen	24
Tab. 5 Durchschnittsalter der einzelnen Reifestufen	25
Tab. 6 Arbeitspulse der 2., 5. und 10. Minute der einzelnen männlichen Altersgruppen als Mittelwerte	35
Tab. 7 Mittlerer Ermüdungspulsanstieg der 10. Minute der jeweiligen Altersgruppen	42
Tab. 8 Veränderungen der Arbeitspulssumme in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht der Versuchspersonen	47
Tab. 9 Mittlere Werte der Arbeitspulssumme von verschiedenen Altersgruppen	48
Tab. 10 Veränderungen der Erholungspulssumme in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht der Versuchspersonen	50
Tab. 11 Mittlere Werte der Erholungspulssumme in verschiedenen Altersgruppen	51
Tab. 12 Veränderungen der Gesamtpulssumme in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht der Versuchspersonen	55
Tab. 13 Mittlere Werte der Gesamtpulssumme von verschiedenen Altersgruppen	56
Tab. 14 Differenzen zwischen den gefundenen Korrelationskoeffizienten getrennt für Jungen und Mädchen	64
Tab. 15 Differenzen zwischen den gefundenen Korrelationskoeffizienten gemeinsam für Jungen und Mädchen	67

	Seite
Tab. 16 Mittlere Werte der Arbeitspulssumme in verschiedenen Reifegruppen (nach Schmidt-Voigt)	69
Tab. 17 Mittlere Werte der Erholungspulssumme in verschiedenen Reifegruppen (nach Schmidt-Voigt)	70
Tab. 18 Mittlere Werte der Gesamtpulssumme in verschiedenen Reifegruppen (nach Schmidt-Voigt)	71

I. Das Verhalten der Pulsfrequenz bei Arbeit von Kindern ===== und Jugendlichen =====

Da der Sauerstoffmehrerverbrauch bei Arbeit von Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen nach den Untersuchungen von MORSE, SCHLUTZ und CASSELS (24) sowie NÖCKER und BÖHLAU (26) keine signifikanten Unterschiede aufweist, kommt den Veränderungen der Pulsfrequenz für die Beurteilung des Kreislaufverhaltens im Jugendalter eine besondere Bedeutung zu. Zwar stellen die Änderungen der Pulsfrequenz nur einen von vielen Faktoren dar, welche sich bei Anpassung an die Arbeit ändern, doch ist die Pulsfrequenz heute auch über längere Zeitabschnitte so einfach zu registrieren, daß sie einen wichtigen Anhalt für die Anpassung des Kreislaufes an Arbeit vermittelt. Für alle Veränderungen des Herz-Kreislauf-Systems bei Arbeit stellt der Sauerstoffbedarf der Gewebe die Führungsgröße im Regelgeschehen dar. Um den notwendigen Sauerstoffbedarf zu decken, kann sich sowohl die arteriovenöse Sauerstoffdifferenz, als auch das Herzzeitvolumen ändern, und es ist von Interesse zu prüfen, ob sich qualitative Unterschiede im Bezug auf die Anpassung an Arbeit bei Kindern und Erwachsenen finden.

Tabelle 1. Gegenüberstellung von Atem- und Kreislaufgrößen eines Erwachsenen denen eines Kindes bei Ruhe und körperlicher Arbeit

	Ruhewert		Arbeitswert		Arbeitsw./Ruhewert	
	Erw.	Kind	Erw.	Kind	Erwachsener	Kind
O ₂ -Verbrauch ml/min	260	305	3120	1860	12.0:1	6.2:1
Herzzeitvol. ml/min	5800	4400	22300	16200	3.9:1	3.7:1
Art.ven. O ₂ -Diff. ml/l Blut	45	69	140	115	3.1:1	1.7:1
Schlagvolumen/ml	91	51	128	99	1.4:1	1.9:1
Pulsfrequenz	64	81	174	164	2.8:1	2.0:1

In der Tabelle 1 wurden darum wichtige Atem- und Kreislaufgrößen bei einem Kind und einem jungen männlichen Erwachsenen während des Ruhezustandes und bei schwerer körperlicher

Arbeit nach Untersuchungen von ASMUSSEN und NIELSEN (1) bzw. SCHNEIDER und CRAMPTON (34) zusammengestellt. Beide Personen hatten am Fahrradergometer zu arbeiten, doch war die durchgeführte Arbeit unterschiedlich schwer. Sie betrug bei dem Erwachsenen 1260 mkp/min und bei dem Kind 420 mkp/min. Entsprechend der unterschiedlichen Arbeitsschwere nahm der Sauerstoffverbrauch beim Erwachsenen um das 12-fache, beim Kind um das 6.2 fache des Ruhewertes zu. Das Herzzeitvolumen stieg beim Erwachsenen jedoch nur um das 3.9 fache, beim Kind um das 3.7 fache, während die arteriovenöse Sauerstoffdifferenz beim Erwachsenen um das 3.1 fache, beim Kind um das 1.7 fache zunahm. Die Steigerung des Sauerstoffverbrauches bei Arbeit vollzog sich sowohl beim Kind als auch beim Erwachsenen über eine multiplikative Koppelung der Steigerung des Herzzeitvolumens und der Zunahme der arterio-venösen Differenz zusammen.

Während somit keine qualitativen Unterschiede in der Anpassung an den Arbeitsvorgang beim Kind und Erwachsenen vorhanden waren, läßt die Tabelle weiter erkennen, daß das Kind praktisch die gleiche Pulsfrequenz wie der Erwachsene erreicht, obschon die Arbeit des Erwachsenen drei mal so schwer war. Dies erklärt sich daraus, daß das Schlagvolumen des Erwachsenen sowohl in Ruhe als auch bei Arbeit deutlich über dem des Kindes lag.

Berücksichtigt man darüberhinaus noch, daß mit Zunahme der Pulsfrequenz der Sauerstoffbedarf des Herzens größer und damit der Wirkungsgrad des Herzens abnimmt, so wird verständlich, daß in der stärkeren Steigerung der Pulsfrequenz von Kindern eine besondere Gefährdung des kindlichen Herzens liegen kann. Aus diesem Grunde hat man das Verhalten der Pulsfrequenz in den letzten Jahren vermehrt zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit von Kindern und Jugendlichen herangezogen.

II. Methoden zur Beurteilung der körperlichen Leistungs- fähigkeit mit Hilfe von Pulsfrequenzmessungen

Beim Arbeitsversuch lassen sich die zu beurteilenden Kreislaufgrößen nur dann sicher reproduzieren, wenn man definierte Belastungsformen, wie Arbeit am Fahrradergometer, Handkurbelergometer oder Gehen auf der Tretbahn verwendet. Da eine Reihe von Methoden zur Prüfung der körperlichen Leistungsfähigkeit von Kindern jedoch undefinierte Belastungsformen verwenden, empfiehlt es sich, die bekanntgewordenen Methoden nach definierten und undefinierten Belastungsformen zu unterscheiden.

1. Methoden unter Verwendung undefinierter Belastungen

Eines der ältesten Verfahren zur Prüfung der körperlichen Leistungsfähigkeit unter Berücksichtigung von Pulsfrequenzmessungen an Kindern ist der MASTER-Step-Test (17). Hierbei haben die Kinder innerhalb von 90 Sekunden zwei Treppenstufen von 32.8 cm Höhe in bestimmter Geschwindigkeit hinauf und hinunter zu steigen. Diese Geschwindigkeit und damit die Zahl der Treppenbesteigungen richtet sich nach dem Körpergewicht unter Berücksichtigung des Lebensalters. Bei diesem Verfahren werden Puls und Blutdruck vor der Leistung, sowie 105 - 120 Sekunden nach der Leistung gemessen. Pulsfrequenz und Blutdruck sollen spätestens nach 2 Minuten wieder zur Norm zurückgekehrt sein. Neuere Untersuchungen an Kinder (GRASER (7)) haben aber gezeigt, daß der MASTER-Step-Test keine reproduzierbaren Werte liefert und damit für die Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit wenig geeignet sein dürfte.

Ähnliches trifft für den SCHELLONG-Test zu (7), bei dem vor und nach einer bestimmten Zahl von Kniebeugen Pulsfrequenz und Blutdruck gemessen werden und ein EKG vor und nach der Arbeit geschrieben wird. Auch hier sollen Pulsfrequenz und Blutdruck innerhalb von 2 Minuten zur Norm zurückkehren.

Beim SCHELLONG-Test kann man als Belastung auch Treppensteinen verwenden, und die Untersuchungen von NITSCH (25) zeigten, daß selbst bei dieser Belastungsform die Inkonstanz der Kurventypen bei Mehrfachuntersuchungen der gleichen Kinder auffällig war. Auch der ROTSCHUH-Test hat sich für die Beurteilung des Herz-Kreislauf-Systems von Kindern und Jugendlichen nicht einbürgern können. ROTSCHUH (29) ging von der Vorstellung aus, daß ein funktionstüchtiger Kreislauf das notwendige Herzminutenvolumen mehr über eine Vergrößerung des Schlagvolumens als über eine Steigerung der Pulsfrequenz erreichen sollte. Dabei benutzte er die Vergrößerung der Blutdruckamplitude als Maß für den Anstieg des Schlagvolumens.

Im einzelnen ging ROTSCHUH so vor, daß zunächst Blutdruck und Pulsfrequenz in Ruhe und sodann unmittelbar im Anschluß an 10 Kniebeugen gleichzeitig bestimmt wurden.

Bei seinen Untersuchungen an 32 Erwachsenen beobachtete OHR (27), daß die prozentuale Pulsfrequenzsteigerung in 78 % der Untersuchungen größer war als die prozentuale Amplitudensteigerung. Bei Untersuchungen an Kindern beobachtete RIEGER (28) dagegen, bei 28 Jugendlichen im Alter von 13 - 16 Jahren nur in 32 % der Fälle ein solches Verhalten, während bei 28 Kindern im Alter von 9 - 12 Jahren nur in 13 % der Fälle eine derartige Kreislaufreaktion zu finden war. Damit dürfte erwiesen sein, daß die dem Test zugrundeliegende Hypothese für das Kindesalter als Maß der körperlichen Leistungsfähigkeit nicht anzuwenden ist. In letzter Zeit hat man verschiedentlich versucht, vor allem mit Hilfe von Step-Test-Verfahren ohne größeren apparativen Aufwand möglichst definierte Belastungsformen herzustellen. So benutzte man beim HARWARD-Step-Test in der von GALLAGHER und BROUHA (6) angegebenen Form je nach der Körperoberfläche der Probanden eine Stufenhöhe von 41 - 51 cm, wobei dieser Stuhl 4 Minuten lang je 30 mal pro Minute zu besteigen ist. Die Pulsfrequenz wird dabei nach der Arbeit für jeweils 30 Sekunden zu verschiedenen Zeitabschnitten bestimmt, und man errechnet den sog.

Fitness-Index nach der Formel:

$$\text{F.I.} = \frac{\text{Arbeitsdauer in Sekunden} \times 100}{2 \times \text{Summe der Pulsfrequenz, ermittelt 1 - 1.5;} \\ 2 - 2.5 \text{ und } 3 - 3.5 \text{ Minuten nach Arbeitsende}}$$

CULLUMBINE und Mitarbeiter bestimmten bei 7 000 Ceylonesen im Alter von 10 - 40 Jahren diesen Fitness-Index und fanden, daß der beste Index-Wert bei männlichen Personen im 10. Lebensjahr, der schlechteste Wert bei männlichen im 17. Lebensjahr erreicht wurde. Bei den Frauen fand sich ein ähnlicher Abfall beim 10. - 18. Lebensjahr, dem ein erneuter Anstieg bis zum 35. Lebensjahr folgte. Nach diesen Untersuchungen wäre die körperliche Leistungsfähigkeit der Frauen im 35. Lebensjahr gleich der Leistungsfähigkeit männlicher 10jähriger Kinder gewesen; was der allgemeinen Erfahrung jedoch klar widerspricht. Auf Grund dieser Unstimmigkeiten haben CULLUMBINE, BIBILE, WIKRAMANAYAKE und WATSON (5) die effektive Leistung mit in Rechnung gestellt und daraus den sog. "work-pulse-index" nach folgender Formel errechnet:

$$\text{w.p.i.} = \frac{\text{Arbeit in foot-lbs}}{2 \times \text{Summe der Pulsfrequenz, ermittelt 1 - 1.5;} \\ 2 - 2.5 \text{ und } 3 - 3.5 \text{ Minuten nach Arbeitsende}}$$

Nach dieser Reduktion zeigte sich, daß der work-pulse-index von 38.6 im 10. Lebensjahr parabelförmig bis auf 78.5 im 21. - 25. Lebensjahr anstieg und sich gut zur Differenzierung der körperlichen Leistungsfähigkeit eignet.

Um die Stufenhöhe den unterschiedlichen anatomischen Verhältnissen verschiedener Lebensalter anzupassen, haben HETTINGER und RÖDAHL (8) eine Methode angegeben, bei der die zu verwendende Stufenhöhe und die verlangte körperliche Leistung aus der Beinlänge bzw. dem Körpergewicht nach Tabellen berechnet werden kann. Der dimensionslose Index errechnet sich dabei aus folgender Formel:

$$\frac{(R_1 - R_R) - (R_2 - R_R) + (R_5 - R_R)}{2} + (P_1 - P_R) + (P_2 - P_R) + (P_5 - P_R) = \text{Summe}$$

$$\text{Index} = \frac{\text{Summe}}{\text{mkg/Stufe}} \text{ mal } 100$$

In der Formel bedeuten:

R_R	=	systolischer Blutdruck in Ruhe
R_1	=	" " direkt nach der Belastung
R_2	=	" " 2 Min. " " "
R_5	=	" " 5 Min. " " "
P_R	=	Pulsfrequenz in Ruhe
P_1	=	" direkt nach der Belastung
P_2	=	" 2 Min. " " "
P_5	=	" 5 Min. " " "

Die Leistungsfähigkeit ist demnach umso größer, einen je kleineren Wert der Index erreicht.

Bei ihren Untersuchungen an 975 Versuchspersonen im Alter von 8 - 74 Jahren zeigte sich, daß der Indexwert im 10. Lebensjahr parabelförmig auf einen bestimmten Wert im 25. Lebensjahr anstieg, um dann allmählich mit zunehmendem Lebensalter wiederum erneut abzufallen. Deutliche Geschlechtsdifferenzen ließen sich mit Hilfe dieses Index ab dem 8. Lebensjahr nachweisen, sodaß auch dieser Index eine Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit mit relativ einfachen Mitteln erlaubt.

2. Methoden mit definierten Belastungen zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit

Zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit durch submaximale, definierte Belastungen hat man sich in den letzten Jahrzehnten vornehmlich des Fahrradergometers bedient.

Diese Arbeitsart hat den Vorteil, daß der Sauerstoffmehrerverbrauch bei gleichen Leistungen in allen Lebensaltern gleich groß ist. Da LUNDGREN (16) feststellte, daß das Verhältnis zwischen Anstieg der Pulsfrequenz und Sauerstoffverbrauch bei definierten Belastungen sich gut zur Kennzeichnung der Leistungsfähigkeit einer Person verwenden läßt, entwickelte MÜLLER (20) ein Verfahren zur Registrierung der individuellen unterschiedlichen Abhängigkeit des Pulsfrequenzanstieges vom Sauerstoffverbrauch. MÜLLER konstruierte zu diesem Zwecke ein Ergometer, bei dem die Leistung um 1 mkp/sec in jeder Minute konstant anstieg und wählte als Index der körperlichen Leistungsfähigkeit den Regressionskoeffizienten zwischen Leistung und Pulsdifferenz. Dieser Index gibt somit an, um wieviel Schläge die Pulsfrequenz je mkp/sec Leistungszunahme ansteigt. Die Abhängigkeit dieses Leistungspulsindex vom Lebensalter wurde von RUTENFRANZ und HETTINGER (30) eingehend bei insgesamt 942 männlichen und weiblichen Personen im Alter zwischen 8 und 25 Jahren untersucht. Dabei zeigte es sich, daß 8jährige Jungen und 9jährige Mädchen für den gleichen Leistungsanstieg die 2 - 3 fache Pulszahl aufwenden müssen wie erwachsene Männer. Ein weiterer Leistungspulsindex, welcher bei Arbeit am Fahrradergometer bestimmt werden kann, wurde von LEHMANN und SZAKALL entwickelt. Im Prinzip beruht dieses Verfahren darauf, daß man bei submaximaler Arbeit am KROGHschen Fahrradergometer die Pulsfrequenz fortlaufend registriert und die in einem bestimmten Zeitabschnitt geleisteten mkp durch die in der entsprechenden Zeit registrierten Herzschläge dividiert. Erfahrungen mit diesem Index liegen bisher nur an einem kleinen Untersuchungsgut vor. So haben LEHMANN und SZAKALL (15) diesen Index zur Leistungsanalyse an 285 Jugendlichen verschiedener Berufsgruppen benutzt und gefunden, daß sporttreibende kaufmännische Berufsschüler pro Herzschlag im Mittel 4.37 mkp pro Herzschlag leisten konnten. Eine weite Verbreitung zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit hat vornehmlich im schwedischen Schrifttum die Bestimmung der sog. "working capacity" nach

WAHLUND (36) gefunden. Hierunter versteht man diejenige Leistung im mkp/min, welche bei einer Herzfrequenz vom 170/min. durchgeführt werden kann.

Im einzelnen besteht das Untersuchungsverfahren aus einer ununterbrochenen Serie von Arbeitsleistungen, welche mit 300 oder 600 mkp/min beginnt und etwa alle 6.5 Minuten um 3 mkp/min erhöht wird, bis die untersuchte Person nicht mehr arbeiten kann oder bis die Leistung 12 mkp/min erreicht. Aus den im steady state bei verschiedenen Belastungsstufen ermittelten Pulsfrequenzwerte wird die Belastung für eine Pulsfrequenz vom Wert 170/min., dann intra- oder extrapoliert. BENGTTSSON (3) hat an 101 Personen zwischen 5 und 40 Jahren die Bestimmung der working capacity durchgeführt und gefunden, daß die working capacity von 234 mkp/min. bei den 5 - 6Jährigen bis auf 633 mkp/min bei den 14Jährigen anstieg. Nach Eintritt der Pubertät ergaben sich deutliche Geschlechtsunterschiede. So erreichten die 15-20jährigen Jungen eine working capacity von durchschnittlich 1031 mkp/min, während die gleichaltrigen Mädchen nur eine working capacity von 770 mkp/min. aufweisen.

Vergleichende Untersuchungen über die Beurteilung der Leistungsfähigkeit durch Bestimmung der working capacity und des Leistungspulsindex von R.HOCKE (9) haben gezeigt, daß sich mit Hilfe der working capacity vor allem das Leistungsverhalten besonders leistungsfähiger Personen besser differenzieren läßt, als es nur mit alleiniger Bestimmung des Leistungspulsindex möglich ist.

Untersuchungen von KARRASCH und MÜLLER (10) konnten nachweisen, daß es zur Charakteristik des Pulsverhaltens bei Arbeit nicht ausreichend ist, nur die Arbeitspulsfrequenz zu berücksichtigen, sondern daß es sich empfiehlt, auch das Pulsverhalten nach Arbeitsende mit in die Bewertung einzubeziehen. Bei ihren Untersuchungen mit konstanter Arbeitsschwere bezeichneten sie darum die Summe aller Pulse, welche während der Arbeit den Ruhepuls überschritten, als Pulssumme während der Arbeit. Die Pulserhöhungen über den Ruhepuls nach

Arbeitsende wurden von ihnen als Erholungspulssumme bezeichnet und beide Anteile unter dem Begriff der Arbeitspulssumme zusammengefaßt.

Untersuchungen über die Veränderungen dieser einzelnen Komponenten bei konstanter Arbeit am Fahrradergometer von Kindern und Jugendlichen wurden erstmalig von NÖCKER und BÖHLAU (26) durchgeführt. Diese Autoren bezeichneten die Pulssumme während der Arbeit als Arbeitspulssumme und faßten die Arbeitspulssumme und die Erholungspulssumme unter dem Begriff der Gesamtpulssumme zusammen. Bei ihren Untersuchungen an 215 Personen im Alter zwischen 9 und 35 Jahren fanden sie bei 10 Minuten dauernder gleichbleibender Arbeit am Fahrradergometer (5 mkp/sec), daß die Gesamtpulssumme von 693 Herzschlägen bei den 9 - 11jährigen Jungen von 194 Herzschlägen bei den 31 - 36jährigen männlichen Erwachsenen in Form einer Parabel abfiel. Ab der Präpubertät traten deutliche Geschlechtsunterschiede auf. Normwerte für die einzelnen Altersstufen ließen sich auf Grund dieser Untersuchungen nicht aufstellen, da die einzelnen Altersgruppen z.T. nur sehr wenige Versuchspersonen umfaßten, so daß der Streubereich relativ groß war. Da die Untersuchungen von NÖCKER und BÖHLAU (26) aber erkennen lassen, daß die Bestimmung der Arbeits- und Erholungspulssumme sich zur Differenzierung des Leistungsverhaltens von Kindern und Jugendlichen eignen dürfte, soll im folgenden über eigene Untersuchungen mit diesem Verfahren bei Kindern und Jugendlichen im Alter zwischen 10 und 18 Jahren berichtet werden.

III. Eigene Untersuchungen

=====

1) Methodik

a) Untersuchungsgut

Unser Untersuchungsgut umfaßte insgesamt 195 Personen, davon 96 Jungen und 99 Mädchen im Alter von 10 bis 18 Jahren. Diese Probanden stammten aus dem Städtischen Waisenhaus, München und folgenden Münchner Oberschulen: Mädchenrealgymnasium der Armen Schulschwestern am Anger, Wittelsbacher-Gymnasium, sowie Ludwigs-Oberrealschule, beide am Marsplatz. *

Da RUTENFRANZ und HETTINGER (30) in einer früheren Untersuchung zeigen konnten, daß sich das Leistungsverhalten im Jugendalter nicht sprunghaft, sondern allmählich ändert, erschien es ausreichend, in unsere Untersuchungen Kinder und Jugendliche im Abstand von zwei Lebensjahren einzubeziehen. Die von uns untersuchten Heranwachsenden befanden sich also im Alter von 10-11, 12-13, 14-15, 16-17 und 18-19 Jahren. Die altersmäßige Aufgliederung, das Durchschnittsalter und die Anzahl der in jeder Altersgruppe untersuchten Personen ist aus Tabelle 2 ersichtlich:

* An dieser Stelle möchte ich der Frau Direktorin des Realgymnasiums am Anger, der Frau Direktorin der Mittelschule am Mariahilfplatz, sowie den Herren Direktoren des Wittelsbacher Gymnasiums, der Ludwigs Oberrealschule und des Waisenhauses der Stadt München für die lebenswürdige Unterstützung meiner Arbeit herzlich danken.

Tabelle 2. Aufgliederung des Untersuchungsgutes
nach Alter, Geschlecht und Beruf

Alter (Jahre)	Gesamtzahl	Durchschnitts- alter	davon Schüler	erwerbs- tätige Ju- gendliche
KNABEN				
10	18	10.5	18	--
12	18	12.4	18	--
14	20	14.5	11	9
16	20	16.5	11	9
18	20	18.4	17	2
MÄDCHEN				
10	20	10.6	20	--
12	20	12.5	20	--
14	19	14.5	16	3
16	20	16.6	20	--
18	20	18.4	20	--

Aus dieser Tabelle erkennt man, daß das Durchschnittsalter unserer Stichproben immer nahe beim Scheitelpunkt der Altersklasse lag, was einen Rückschluß auf die Auswahlfreiheit der Stichproben erlaubt.

Die gleiche Tabelle zeigt auch, daß fast alle Versuchspersonen Schüler waren. Nur 20 Jungen standen bereits im Erwerbsleben. Bei den Mädchen waren nur drei Vierzehnjährige schon aus der Volksschule entlassen. Sie wurden in der Schneiderei, im Kindergarten und im Haushalt des Waisenhauses beschäftigt.

Da es sich bei unserem Untersuchungsgut um auswahlsfreie Stichproben handeln sollte, wählten wir unsere Probanden nach den alphabetischen Heim- und Klassenlisten aus. Es wurde also keine Auswahl besonders kräftiger oder besonders schwächerer Kinder und Jugendlicher getroffen. Jedes Kind wurde vor unseren ergometrischen Untersuchungen klinisch

sorgfältig untersucht. Nur in einigen Fällen mußten wir auf Grund dieser Untersuchungen Kinder von unseren Experimenten ausschließen.

Alle Probanden waren also altersgemäß entwickelte, gesunde Jugendliche. Unter ihnen befanden sich keine Leistungssportler, wenn sich auch sehr viele mit Fußballspiel und Skilauf beschäftigten.

Um zu prüfen, ob der Entwicklungsstand der untersuchten Kinder und Jugendlichen der jeweiligen Altersnorm entsprach, haben wir in Tabelle 3 die mittleren Körpergrößen und Körpergewichte unserer Kinder mit den Somatogrammwerten von VOGT (35) verglichen, welche aus den Erhebungen von BACH (2) an 55 615 Knaben und 39 389 Mädchen errechnet wurden.

Beim Vergleich der von uns gefundenen Mittelwerte mit den Somatogrammangaben von VOGT fällt auf, daß die Körpergrößen unserer männlichen Probanden bei den einzelnen Altersstufen im Durchschnitt über den Werten von VOGT lagen. Die arithmetischen Mittel befanden sich dabei aber immer im einfachen 6 -Bereich der Normwerte.

Vergleich von Körpermaßdaten
unserer Kinder und Jugendlichen

Tabelle 3.

KÖRPERGRÖSSE

Alter (Jahre)	männlich				weiblich			
	Eigene Werte		VOGT		Eigene Werte		VOGT	
	AM	6	AM	6	AM	6	AM	6
10	141.0	7.0	137.5	6.0	141.0	5.5	137.0	5.5
12	149.2	8.7	146.0	7.0	151.8	4.8	147.5	7.5
14	164.0	9.1	157.0	9.0	157.5	6.3	157.5	7.0
16	175.3	8.8	169.0	7.5	162.6	3.5	163.0	5.5
18	176.3	4.6	175.0	6.5	163.2	5.1	165.0	5.5

KÖRPERGEWICHT

Alter (Jahre)	Männlich				weiblich			
	Eigene Werte		VOGT		Eigene Werte		VOGT	
	AM	6	AM	6	AM	6	AM	6
10	33.5	6.2	30.8	4.1	37.0	6.65	30.0	4.4
12	41.7	6.1	32.2	4.9	45.8	7.3	36.3	5.3
14	53.4	8.5	44.4	7.9	57.5	14.5	46.7	6.9
16	63.6	7.5	56.1	7.9	60.4	8.7	52.5	6.4
18	65.9	7.0	65.0	7.7	57.3	4.6	56.0	6.2

Auch die mittleren Körpergewichte bei den von uns untersuchten Jungen lagen über den von VOGT angegebenen Normwerten. Während bei den 10-jährigen und den 16-jährigen die einfachen 6 -Bereiche nicht überschritten wurden, zeigten die 12 und 14-jährigen Durchschnittswerte, die im doppelten 6 -Bereich lagen. Das durchschnittliche Körpergewicht der 18-jährigen entsprach dem Somatogramm.

Die mittleren Körpergrößen der Weiblichen Probanden lagen bei den 10 und 12-jährigen über den Normwerten. Bei den 14-jährigen entsprach die durchschnittliche Körpergröße dem Somatogramm. Die 16 und 18-jährigen Mädchen zeigten eine etwas niedrigere Durchschnittsgröße, als sie VOGT bei seinen Untersuchungen festgestellt hatte. In keiner Altersstufe aber wurde der einfache 6 -Bereich überschritten.

Unsere untersuchten Mädchen zeigten im Durchschnitt ein größeres Körpergewicht. Die Werte der einzelnen Altersstufen lagen meist im doppelten 6 -Streubereich. Nur die älteste Altersgruppe wies Normwerte auf.

Zusammenfassend kann wohl gesagt werden, daß die von uns festgestellten Körperdaten, zumindest bezüglich der Körpergröße praktisch den von VOGT angegebenen Somatogrammwerten entsprachen. Die Unterschiede zwischen den Mittelwerten der Körpergröße unserer Versuchspersonen und den Normwerten überschritt nie den einfachen 6 -Bereich. Bei den Körperge-

wichten ergaben sich, vor allem bei den Mädchen, größere Differenzen. Die größten Abweichungen zeigten dabei die 10-jährigen Mädchen. Die Unterschiede der Körpermaßdaten lassen sich wohl zum großen Teil durch die Zusammensetzung unseres Untersuchungsgutes erklären, das hauptsächlich aus Oberschülern der Stadt München bestand. Die Gruppe der 10-jährigen Mädchen, die ein besonders hohes Körpergewicht aufwies, setzte sich aus Schülerinnen einer Privatschule zusammen, die aus besten sozialen Verhältnissen stammten.

Der Vergleich unserer Mittelwerte mit den Normwerten läßt erkennen, daß die von uns gebildeten Stichproben auch hinsichtlich ihrer körperlichen Entwicklung den allgemeinen Verhältnissen ihrer Altersgruppen weitgehend entsprachen, so daß die Stichproben trotz ihrer Kleinheit eine hinreichende statistische Repräsentanz beanspruchen können.

Da KIRCHHOFF (11) in letzter Zeit auf die Abhängigkeit der körperlichen Leistungsfähigkeit von der Reifeentwicklung besonders aufmerksam gemacht hat, bestimmten wir außer Körperlänge und Körpergewicht bei einem Großteil der Probanden anhand der Angaben von SCHMID-VOIGT (32) die Reifeentwicklung. Man unterscheidet dabei fünf Reifestufen:

K= kindlich, P= pubescent, R= reif, sowie KP und PR, die jeweilige Übergangsstadien bedeuten.

In Tabelle 4 haben wir unsere untersuchten Versuchspersonen nach diesen Reifegruppen aufgegliedert. Wie daraus zu ersehen ist, gehören von den 98 Jungen noch 28 zur Stufe K, 10 zu Stufe KP und 20 zu Stufe P, während die Gruppe PR 16 und die Gruppe R 22 Jungen umfaßte.

Tabelle 4. Aufgliederung des Untersuchungsgutes nach Reifestufen

	<u>Knaben</u>	<u>Mädchen</u>
K	28	19
KP	10	6
P	20	7
PR	16	19
R	22	27
	<u>96</u>	<u>78</u>

Von den 99 Mädchen konnten wir nur 78 nach Reifegruppen aufgliedern. Dabei bestand die Gruppe K aus 19, die Gruppe KP aus 6 und die Gruppe P aus 7 Mädchen. In die Reifestufe PR gehörten 19 und in die Reifestufe R 27 Mädchen. Bei den Mädchen gehört also ein größerer Prozentsatz den höheren Reifestufen an, was den bekannten Tatsachen der früheren sexuellen Reifung der Mädchen entspricht.

Für die einzelnen Reifephasen haben wir auch das mittlere Lebensalter unserer Versuchspersonen berechnet. Dabei zeigte sich (Tabelle 5), daß der Beginn der Pubertät bei unseren Jungen im Durchschnitt ein halbes Jahr später lag, als bei den Mädchen. Außerdem waren die Mädchen schon in einem Durchschnittsalter von 13.6 Jahren im Pubertätsstadium, während die Jungen erst mit einem Durchschnittsalter von 15.1 Jahren diese Reifephase erreichten. Die zwei ältesten Reifegruppen entsprachen sich bei beiden Geschlechtern.

Tabelle 5. Durchschnittsalter der einzelnen Reifestufen

	K	KP	P	PR	R	
männlich	11.2	13.2	15.1	16.1	17.8	Jahre
weiblich	10.6	12.6	13.6	15.9	17.7	Jahre

b) Meßanordnung

Die Untersuchungen wurden mit dem Fahrradergometer nach E.A.MÜLLER (21) vorgenommen. Dieses Ergometer ist folgendermaßen konstruiert:

Auf die Felge des Hinterrades ist eine Kupferscheibe montiert. Diese Kupferscheibe rotiert im Kraftfeld zweier Permanentmagneten. Je nach Größe der gewünschten Belastung taucht die Kupferscheibe in den Wirkungsbereich der Magneten verschieden tief ein. Die Eintauchtiefe wird über einen Hebel an einer Kurvenscheibe abgegriffen. Die Stellung der Kurvenscheibe kann über eine Drehkurbel auf jeden gewünschten Wert zwischen 0 und 25 mkp/sec. gebracht werden.

Zu diesem Zweck ist eine Skala mit der Kurvenscheibe gekoppelt. Auf dieser Skala liest man also die jeweilige Belastung ab.

Ein weiterer Mechanismus bietet noch die Möglichkeit, die Belastung kontinuierlich zu erhöhen. Dazu wird mit einem Schieber die Einstellung der Belastung über die Drehkurbel ausgeschaltet und ein Zahnrad an ein einstufiges Schraubengewinde, das an der Nabe des Hinterrades angebracht ist, angeschlossen. Auf diese Weise wird bei jeder Umdrehung des Hinterrades die Kurvenscheibe so verändert, daß die Belastung in jeder Minute um 1 mkg/sec. zunimmt.

Um die Tretgeschwindigkeit konstant halten zu können, gehört zum Ergometer ein Schrittmacher. Bei diesem Apparat treibt ein Synchronmotor eine kleine Figur mit einer konstanten Geschwindigkeit im Uhrzeigersinn an. Diese Figur kann aber gleichzeitig durch Pedalumdrehungen am Fahrradergometer in entgegengesetzter Richtung bewegt werden. Die Übertragung der Drehgeschwindigkeit geschieht mittels einer flexiblen Tachometerwelle. Heben sich die beiden Drehmomente auf, ist also die Antriebsgeschwindigkeit des Elektromotors gleich der Tretgeschwindigkeit, so bleibt die Figur zwischen zwei Markierungslinien ruhig stehen. Dies entspricht einer Tretgeschwindigkeit von 60 Pedalumdrehungen pro Minute. Erst wenn diese Bedingung erfüllt ist, leistet die Versuchsperson mit dem Ergometer die durch die Skalaeinstellung gewünschte Arbeit.

Da der Wirkungsgrad bei Fahrradergometerarbeit von der Sattelstellung abhängig ist, wurde der Sattel für jede Versuchsperson so eingestellt, daß die Ferse bei ausgestrecktem Bein das Pedal ohne Schwierigkeiten erreichte.

Der Puls wurde mit dem von MÜLLER und HIMMELMANN (22) entwickelten automatischen Pulszähler registriert. Entsprechend den Vorschlägen von MATHES (18) wird das Ohr läppchen mit einem kleinen Lämpchen durchleuchtet, dessen Licht auf eine Silizium-Fotozelle auf der anderen Seite des Ohr läppchens fällt. Lämpchen und Fotozelle sind mittels einer

Klammer miteinander verbunden. Um das Gewicht der Klammer und der zuführenden Drähte zu verringern, wurden von uns die Drähte mit Hilfe eines Ohrenspiegelreifs am Kopf fixiert. Dieser Pulszähler arbeitet nach folgendem Prinzip: Die Lichtmenge, die auf die Fotozelle trifft, hängt von der jeweiligen Blutfülle des Ohrläppchens ab. Da sich mit jeder Herzaktion auch die Blutfülle im Ohrläppchen ändert, verändert sich entsprechend auch die durchfallende Lichtmenge. Die durch die Herzaktion verursachte Abschwächung der Lichtintensität wird von der Fotozelle mit einem Stromstoß beantwortet. Dieser Stromstoß wird in einem Verstärker so weit verstärkt, daß er in einem Druckzählwerk registriert werden kann. Die Zahl der Impulse wird alle 60 Sekunden im Durchschreibeverfahren auf einen Papierstreifen aufgedruckt. Die Differenz von zwei Druckzahlen entspricht dann dem gefundenen Pulswert.

c) Versuchsanordnung

Da unsere Versuche im Rahmen einer größeren Untersuchungsreihe durchgeführt wurden, nahm jeder Proband an fünf Arbeitsversuchen teil. Um Ermüdungseffekte durch vorangegangene Versuche auszuschließen, wurde an einem Tag mit einer Versuchsperson nur ein Arbeitsversuch vorgenommen. An das Betätigen des Fahrradergometers und an das Funktionieren der Geschwindigkeitsbedingungen gewöhnten wir die Kinder und Jugendlichen schon einen Tag vor Beginn der eigentlichen Versuche durch eine einmalige Übung. Dabei traten keine Schwierigkeiten auf, da praktisch alle Versuchspersonen radfahren konnten.

Die Untersuchungsfahrten wurden in jedem Institut in einem eigens zur Verfügung gestellten Raum vorgenommen. Es standen uns jeweils vom normalen Schulbetrieb etwas abgelegene Räumlichkeiten zur Verfügung, so daß von da her unliebsame Störungen vermieden werden konnten.

Die Einzelversuche gingen so vor sich, daß die Versuchspersonen zunächst 15 Minuten auf einem Stuhl ausruhen mußten.

Dann wurde die Zählvorrichtung an einem Ohr des Probanden befestigt und die Lichtstärke des Lämpchens, sowie die Empfindlichkeit der Siliziumzelle einreguliert. Bei einwandfreiem Funktionieren wurde das Druckzählwerk in Betrieb gesetzt und solange gewartet, bis sich die Pulsfrequenz auf einen konstanten Ruhewert eingestellt hatte.

Bei meinen Versuchen handelte es sich um einen Arbeitstest mit konstanter Belastung von 5 mkp/sec. über einen Zeitraum von 10 Minuten. Dabei ermittelten wir die drei Indices nach NÖCKER und BÖHLAU (26), Arbeitspulssumme, Erholungspulssumme und Gesamtpulssumme. Bei den Versuchen ließen wir die Versuchspersonen bis unmittelbar vor Beginn der Arbeit und direkt danach auf einen bequemen Lehnstuhl neben dem Fahrradergometer hinsetzen. Beim Ausdrucken des letzten Ruhewertes wurde der Proband aufgefordert auf das Fahrrad überzusteigen und sofort loszutreten. Nach der 10. Fahrminute wechselte der Proband wiederum den Sitz und dann wurde die Pulsfrequenz solange registriert, bis sie wieder den Ruhewert erreicht hatte.

Die Arbeitspulssumme und die Erholungspulssumme erhielten wir dadurch, daß wir sämtliche Pulsschläge, die während der Arbeitszeit, bzw. sämtliche Herzaktionen in der Erholungsphase, die über dem Ruheniveau lagen, miteinander addierten. Die Summe aus der Arbeitspulssumme und der Erholungspulssumme ergab die Gesamtpulssumme.

d) Angewandte statistische Methoden

Um eine Prüfung unserer Untersuchungen auf ihre statistische Zuverlässigkeit durchführen zu können, bedienten wir uns folgender statistischer Methoden:

Die arithmetischen Mittelwerte und ihre Streuung wurden nach den Formeln

$$AM = \sum \frac{x}{n} \qquad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}}$$

berechnet. Darin bedeuten Σ = Summe aller Einzelwerte x_1 ,

$x_2, \dots, x_n$; $\sum (x - \bar{x})$ = Summe der Differenz aller Einzelwerte vom Mittelwert.

Die Berechnung von Maßkorrelationen wurde nach der Formel:

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \cdot \sum (y - \bar{y})^2}}$$

vorgenommen.

Zur Prüfung von Unterschieden benutzten wir folgende Prüfungsfunktionen:

a) Um zu prüfen, ob zwei Mittelwerte der gleichen Grundgesamtheit entstammen könnten, bedienten wir uns der t-Funktion nach der Formel:

$$t = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_2} + \frac{\sigma_2^2}{n_1}}}$$

Aus den t-Werten errechneten wir jeweils die prozentuale Wahrscheinlichkeit (p) nach denen der gefundene Unterschied noch als zufallsbedingt erwartet werden kann. Für die Signifikanzbezeichnung von Unterschieden haben wir nachfolgende Stufen der Wahrscheinlichkeit gewählt:

$p < 0,1 \%$	Unterschied = sehr signifikant	xx
$p < 1 \%$	" = signifikant	x
$p < 5 \%$	" = wahrscheinlich signifikant	() ^x
$p 5-99 \%$	" = nicht signifikant	()

b) Unterschiede zwischen Korrelationskoeffizienten prüfen wir über die z-Transformation auf ihre Signifikanz. Dabei wurde die Korrelationsziffer (z) aus der Maßkorrelation (r) über die Bezeichnung

$$z = \text{Log nat} \sqrt{\frac{1+r}{1-r}} \quad \text{ermittelt.}$$

Bei der Prüfung von Korrelationsunterschieden über die z-Transformation bezeichnet die Signifikanz eines Unterschiedes entsprechend den Tafeln nach KOLLER (13) eine prozentuale Wahrscheinlichkeit von $< 0,27\%$.

2) Ergebnisse

a) Das Verhalten der Pulsfrequenz während und nach submaximaler Arbeit

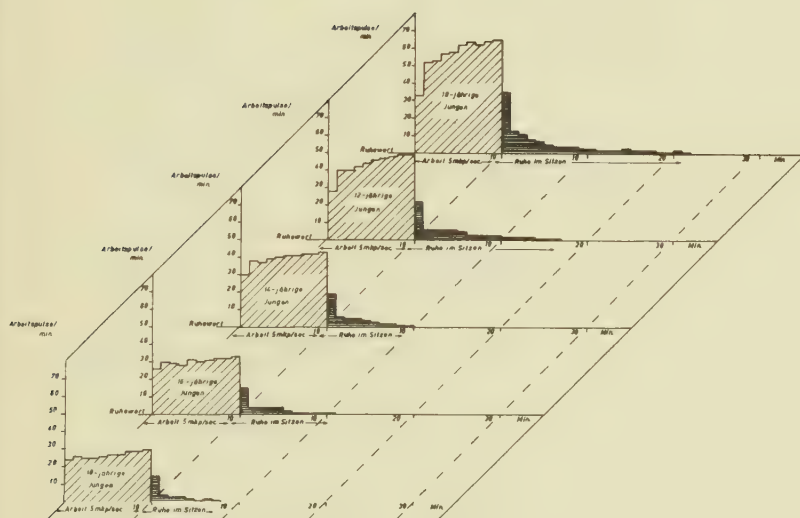
Um einen ersten Überblick über das Verhalten der Pulsfrequenz während und nach der Arbeit bei den Kindern und Jugendlichen verschiedener Altersstufen zu erhalten, haben wir die bei gleichbleibender, submaximaler Belastung registrierten Differenzwerte der Pulsfrequenz zwischen Ruhepuls und Pulsfrequenz während der Arbeit für jede einzelne Minute dargestellt. Diese Darstellung erfolgte gesondert für jede Altersklasse und getrennt nach Geschlechtern. Die Belastung betrug in allen Klassen 5 mkp/Sekunde. Den Pulsdifferenzwert bezeichnen wir Arbeitspuls. In diesen Zeichnungen ist auch gleichzeitig das Verhalten der Pulsfrequenz für jede Minute nach Beendigung der Arbeit aufgezeichnet. Es handelt sich wiederum um die Differenzwerte zwischen Ruhepuls und gemessenem Puls. Die in den Abbildungen aufgeführten Werte sind jeweils berechnete Mittelwerte.

Wie aus der Abbildung 1 ersichtlich ist, zeigte die Gruppe der 10-jährigen Buben in der ersten Minute einen Anstieg der Pulsfrequenz von 33 Schlägen/min. In der 2. Minute erhöhte sich der Arbeitspuls auf insgesamt 52 Schläge/min. Während der folgenden vier Minuten zeigte die Kurve eine weiter steigende Tendenz. Die durchschnittlichen Frequenzzunahmen betrugen aber nun nur noch 3 Schläge pro Minute. Dann schwankte der Arbeitspuls bis zum Ende zwischen 62 und 65 Schlägen in den letzten Minuten.

Den gleichen jähen Anstieg, wie bei der jüngsten Altersgruppe, fanden wir auch bei den 12-jährigen Knaben. Sie wiesen im Durchschnitt in der ersten Minute eine Pulser-

Abbildung 1

Veränderungen der Arbeitspuls- und
Erholungspulswerte der Jungen in
Abhängigkeit vom Lebensalter



höhung von 28 Schlägen und in der zweiten Minute von weiteren 12 Schlägen auf. Bis zum Ende der Arbeit hatten wir in den übrigen Minuten immer noch einen kleinen Anstieg der Frequenz, bis in der 10. Minute ein Arbeitspuls von 59 Schlägen erreicht wurde.

Demgegenüber erreichten die 14-jährigen männlichen Probanden in der 10. Minute nur einen Pulsdifferenzwert von 43 Schlägen/min. In den ersten zwei Minuten betrug der Arbeitspuls 30 und 38 Schläge/min. Auch in den weiteren acht Minuten war mit jeweils ein oder zwei höheren Arbeitspulswerten ein Anstieg zu verzeichnen.

Eine durchschnittliche Pulsfrequenzzunahme in der ersten Minute von 26 Schlägen wiesen die 16-jährigen auf. Nach einer anfänglich weiteren Zunahme von vier Schlägen in der zweiten Minute fiel der Wert in den folgenden zwei Minuten ganz leicht, um dann wiederum anzusteigen, bis er in der letzten Arbeitsminute einen Wert von 33 Schlägen erreichte.

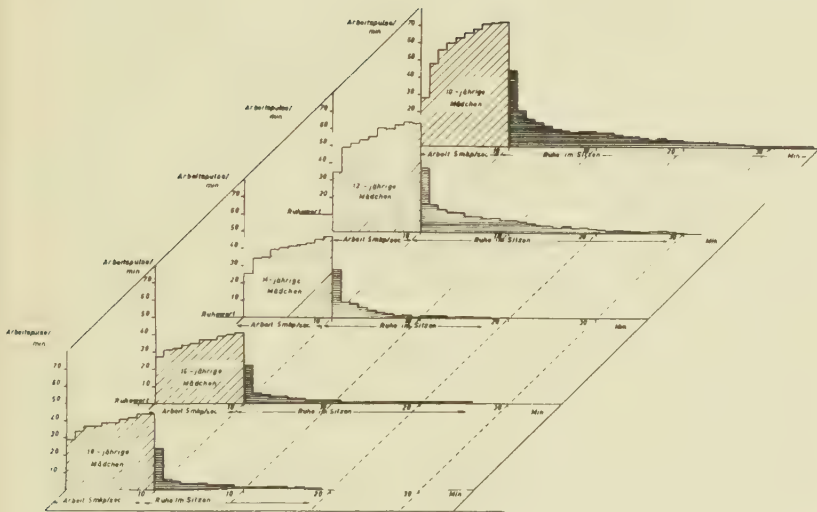
Ähnlich verhielt es sich mit dem Arbeitspuls bei den 18-jährigen Jungen. Nach einem Anstieg in der ersten Minute auf 24, sowie in der zweiten Minute auf 26 Schläge stieg der Arbeitspuls erst in der 5. Minute geringgradig weiter an bis zu einer Frequenz von 30 Schlägen in der letzten Minute.

In der Abbildung 2 wurden unsere Untersuchungsergebnisse für die Mädchen in gleicher Weise dargestellt. Man erkennt, daß die 10-jährigen Mädchen bei der Arbeit von 5 mkp/sec. in der ersten Minute einen Arbeitspulswert von 28, in der zweiten Minute von 48 und in der dritten Minute von 56 Schlägen aufwiesen. Die weitere Zunahme ist aus der Abbildung deutlich ersichtlich. Der Endwert in der letzten Minute betrug bei dieser Altersgruppe 72 Schläge/min.

Auch die 12-jährigen erreichten am Ende der Arbeit mit 63 Schlägen einen hohen Arbeitspulswert. Schon in der ersten Minute hatten sie einen Arbeitspuls von 34, in der zweiten von 49 Schlägen/min. Im Durchschnitt war der weitere Anstieg der Frequenz in der sechsten Minute am größten. In der 9. Minute erreichten die 12-jährigen mit einem Arbeitspuls von 64 Schlägen den höchsten Wert.

Abbildung 2

Veränderungen der Arbeitspuls- und Erholungspulswerte der Mädchen in Abhängigkeit vom Lebensalter



Die 14-jährigen Mädchen hatten in der ersten Minute einen Arbeitspuls von 26, in der zweiten Minute von 34 Schlägen/min. In der vierten Minute stieg der Puls auf 40 Schläge und nahm dann weiterhin bis zu einem Endwert von 48 Schlägen kontinuierlich zu.

Bei den 16- und 18-jährigen Mädchen konnten keine wesentlichen altersabhängigen Unterschiede mehr beobachtet werden. Während die 16-jährigen Mädchen in der ersten Minute einen Arbeitspuls von 27 hatten, betrug der Arbeitspuls der 18-jährigen 29 Schläge/min. Der Pulszahl von 34 Schlägen in der zweiten Minute bei den 18-jährigen entsprach eine Pulsfrequenz von 31 bei den 16-jährigen zum gleichen Zeitpunkt. In gleicher Weise verlief auch die Zunahme des Arbeitspulses bei beiden Altersgruppen in den übrigen Minuten. Die älteren Mädchen hatten mit 44 Schlägen in der 10. Minute praktisch den gleichen durchschnittlichen Arbeitspuls wie die 16-jährigen mit 41 Schlägen/min.

Vergleicht man also die Kurven des Arbeitspulses der verschiedenen Altersgruppen der Jungen miteinander, so fällt einmal als gemeinsames Merkmal auf, daß der Pulsanstieg bei allen Altersstufen während einer Arbeit in den ersten zwei Minuten am größten ist. Doch wird mit zunehmendem Alter der Anstieg immer geringer. Während die 10-jährigen in der ersten Arbeitsminute im Durchschnitt einen Arbeitspuls wert von 22 Schlägen aufwiesen, betrug die durch die Arbeit bedingte Pulserhöhung bei den 18-jährigen nur 26 Schläge. Entsprechend fanden wir in der zweiten Minute bei dem ältesten Jahrgang nur mehr eine weitere Pulsfrequenzzunahme von zwei Schlägen, wohingegen die Zunahme des Arbeitspulses bei den 10-jährigen noch 20 Schläge betrug. Die dazwischenliegenden Altersgruppen zeigten ein entsprechendes Bild.

Trotz des bis zum Ende der Arbeit dauernden Anstiegs der Pulsfrequenz, kann man in Anlehnung an Angaben von BENGTTSSON (3) bei allen Altersgruppen eine Einstellung des Pulses auf ein sogenanntes "steady-state"-Niveau beobachten. Nur erfolgt diese Einstellung auf ein "steady-state"

in Abhängigkeit vom Alter zu verschiedenen Zeiten. Die jüngeren Jahrgänge benötigen länger bis sie ihren steady-state-Wert erreicht haben. BENGTSSON bezeichnete die Pulsschwankungen noch als "steady-state"-Werte, die innerhalb von zwei Minuten eine Grenze von acht Schlägen nicht überschreiten. Bei diesen Werten sei der Proband in der Lage, die Arbeit ohne Ermüden fortzusetzen. Demnach erreichten die 10-jährigen Buben das Niveau ihres "steady-state" Wertes nach etwa der 6. Minute. Bei den 12- und 14-jährigen fand sich diese Einstellung nach der 5. Minute. Von den zwei ältesten Gruppen wurde der "steady-state"-Wert schon nach dem Hauptanstieg der ersten zwei Minuten erreicht.

Stellt man die Arbeitspulse der jeweiligen Altersgruppen der 2., 5. und 10. Minute gegenüber, so ergibt sich folgendes Resultat:

Tabelle 6.

Arbeitspulse der 2., 5. und 10. Minute der einzelnen männlichen Altersgruppen als Mittelwerte.

Alter (Jahre)	Arbeitspuls 2. Minute	Arbeitspuls 5. Minute	Arbeitspuls 10. Minute
10	52	58	66
12	40	44	49
14	38	40	43
16	30	31	33
18	26	26	30

In der zweiten Minute benötigten die jüngsten Buben zur Bewältigung der Arbeit mit einem Arbeitspuls von 52 doppelt so viele Pulsschläge wie die 18-jährigen, die dafür im Durchschnitt nur 26 aufwiesen. Der Aufwand der 12-jährigen betrug mit 40 Pulsschlägen etwa eineinhalbmals so viele Herzaktionen, wie die der ältesten. Auch die 14-jährigen Jungen brauchten zur Leistung der gleichen Arbeit einviertelmals so viele Herzschläge wie die 18-jährigen. In den anderen Vergleichsminuten ist das Verhältnis ähnlich.

In der 5. und 10. Minute zeigten die 10-jährigen aber zweieinviertelmal so viele Pulsschläge wie die 18 Jahre alten Versuchspersonen. Bei diesen Altersgruppen hat sich also das Verhältnis mit längerer Arbeitsdauer verschlechtert. In der 10. Minute änderte sich auch die Beziehung der 14-jährigen zu den 18-jährigen. Zu diesem Zeitpunkt benötigten die 14-jährigen zur Ausführung der gleichen Leistung eineinhalbmal so viele Pulsschläge wie die 18-jährigen. Die 16-jährigen zeigten in allen Vergleichsminuten im Durchschnitt nur noch etwas höhere Arbeitspulswerte als die ältesten Probanden.

Die Pulskurven der Mädchen wiesen ein ähnliches Bild auf wie die der Jungen. Auch bei ihnen erfolgte der Hauptteil des Pulsanstiegs in den ersten zwei Minuten während der Arbeit. Außerdem verringerte sich ebenfalls mit zunehmendem Alter die Differenz zwischen dem Arbeitspuls der ersten und dem der zweiten Minute.

Stellt man die Arbeitspulskurven der einzelnen Minuten von Jungen und Mädchen gegenüber, so findet man in den ersten zwei Minuten bei den Mädchen in allen Altersklassen höhere Arbeitspulswerte als bei den Jungen. Auch in der übrigen Zeit verliefen die Kurven der Mädchen steiler als die der Buben. Am Ende der Arbeit ist das Verhältnis zwischen den Arbeitspulsen der Jungen und der der Mädchen umso schlechter, je älter die Probanden sind.

Während bei den 10-jährigen die Differenz zwischen den Arbeitspulsen der Jungen und der Mädchen nur 7 Schläge betrug, fanden wir bei den Altersgruppen der 18-jährigen eine Differenz von 14 Schlägen. Das bedeutet, daß im 18. Lebensjahr die Pulsdifferenz am Ende der Arbeit zwischen Jungen und Mädchen doppelt so hoch war, wie im 10. Lebensjahr.

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen gleichzeitig das Verhalten der Pulsfrequenz in den einzelnen Minuten nach Beendigung der Arbeit. Die Werte sind wiederum Mittelwerte der Differenzen zwischen dem Ruhepuls und den gemessenen Pulsschlägen.

Bei den 10-jährigen Buben betrug der Erholungspuls in der ersten Minute 35 Schläge. In der zweiten Minute fiel er auf einen Wert von 13 und in der folgenden auf einen Wert von 11 Schlägen ab. In den weiteren Minuten war der Erholungspuls um jeweils etwa zwei Pulsschläge niedriger als der vorhergehende. Ab der 8. Minute pendelte er um einen gewissen Wert bis er nach der 22. Minute den Nullwert erreichte.

Bei den 12-jährigen Jungen hatten wir in der ersten Minute einen Erholungspuls von 22, in der zweiten von 6 Schlägen/min. Erst in der 6. Minute erfolgte weiterhin ein geringer Abfall der Pulsfrequenz bis in der 17. Minute der Ruhewert erreicht wurde.

Die 14-jährigen gelangten schon in der 10. Minute auf ihren Ruhepuls, während in der ersten Minute der Erholungspuls bei 19 und in der zweiten Minute bei 6 Schlägen lag.

Die Werte bei den 16-jährigen Jungen betrugen in der ersten Minute 15, in der zweiten Minute vier Schläge. Danach fiel der Erholungspuls weiterhin kontinuierlich ab. Sie erreichten im Durchschnitt in der 11. Minute den Ruhepuls.

Die Pulsfrequenz der 18-jährigen Jungen fiel nach Beendigung der Arbeit in der ersten Minute auf einen Erholungspuls von 15 Schlägen, während in der folgenden Minute der Erholungspuls nur mehr vier Schläge betrug. Den gleichen Wert hatten sie in der dritten Minute, wonach sie weiterhin in ihrem Erholungspuls abfielen. Nach der 8. Minute gelangten sie zu ihrem Ruhepuls.

Die Abbildungen bezüglich der Mädchen zeigen bei den 10-jährigen in der ersten Minute einen Pulsabfall auf 44 Schläge. Die zweite Minute wies im Durchschnitt einen Erholungspuls von 21 Schlägen auf. In den folgenden Minuten fiel der Puls weiterhin um einige Pulsschläge. Nach einem Erholungspuls von 9 Schlägen in der 9. und 10. Minute betrug er in den beiden nächsten Minuten nur 8 Schläge. Dann erreichte er für zwei Minuten den Wert 6 und wurde im Laufe von weiteren Minuten immer niedriger. Am Ende verblieb

der Erholungspuls im Durchschnitt für sieben Minuten auf einem Wert von nur einem Schlag pro Minute. Den Ruhepuls erreichten die 10-jährigen Mädchen in der 35. Minute.

Bei den 12-jährigen Mädchen hatten wir in der ersten Minute nach Beendigung der Arbeit einen Erholungspuls von 37 Schlägen. In der zweiten Minute betrug der Wert 16, in der weiteren 14 Schläge/min. In den folgenden drei Minuten fiel der Puls auf 12, 11, bzw. 9 Schläge/min. In der weiteren Zeit wurde der Puls in etwa allen zwei bis drei Minuten um einen Schlag geringer. Das Ruhepulsniveau wurde erst in der 30. Minute erlangt.

Die 14-jährigen erreichten in der 18. Minute ihren Ruhepuls. Nach einem anfänglich starken Pulsabfall auf 28 Schläge in der ersten Minute und von 10 Schlägen in der zweiten, wurde er in den folgenden fünf Minuten um jeweils einen oder zwei Schläge geringer. In den darauf folgenden Minuten schwankte der Puls um einen Schlag über dem Ruhewert.

Die 16- und 18-jährigen Mädchen zeigten in den ersten Minuten der Erholungszeit fast gleiche Pulswerte. Der Erholungspuls der 16-jährigen betrug in der ersten Minute 22, während der der 18-jährigen 24 Schläge ausmachte. Die zweite, dritte und vierte Minute mit Werten von 6, 5 und 4 Schlägen/min. waren bei beiden Altersgruppen gleich. Bei den 16-jährigen folgten dann drei Minuten mit Pulsschlägen von 3 Schlägen/min., vier Minuten mit Werten von 2 Schlägen/min. Dann wies der Puls fünfzehn Minuten einen Erholungswert von 1 Schlag pro Minute auf. Bei den 18-jährigen war dies etwa ähnlich. Nach zwei weiteren Minuten mit einem Erholungspuls von 4 Schlägen, betrug dieser in der 7. mit 9. Minute 3 Schläge. Darauf folgten sechs Minuten mit Werten von 2 Schlägen und vier Minuten mit einem Erholungspuls von 1 Schlag/min. Während die 18-jährigen Mädchen ihren Ruhepuls in der 19. Minute erreichten, gelangten die 16-jährigen erst in der 27. Minute wieder auf dieses Niveau.

Vergleicht man nun die Ergebnisse der einzelnen Altersgruppen miteinander, so kann man feststellen, daß die Pulsfrequenz im Durchschnitt sowohl bei den Jungen als auch bei den Mädchen in den ersten zwei Minuten nach Aufhören der Arbeit besonders deutlich abnahm. Je jünger die Kinder waren, desto größer war der Pulswert in der ersten und auch in der zweiten Minute. Von der zweiten Minute an erfolgte der Pulsabfall nur noch langsam. Die jüngeren Altersgruppen benötigten eine längere Zeit bis zum Erreichen ihres Ruheniveaus als die älteren. Die Pulsfrequenzabnahme ging in den Endphasen nicht immer kontinuierlich vor sich, vielmehr schwankte die Pulsfrequenz zeitweilig um einen gewissen Wert, bis der endgültige Abfall zum Ruheniveau erfolgte.

Aus den mitgeteilten Ergebnissen geht weiter hervor, daß die Pulsfrequenz im Mittel umso schneller wieder auf das Ruheniveau zurückkehrte, je älter die Probanden waren. So benötigten die 10-jährigen Jungen im Durchschnitt 22 Minuten bis zu ihrem Ruhepuls, während die ältesten Jungen schon nach 8 Minuten auf ihren Ausgangswert gelangten. Die Mädchen untereinander wiesen dabei noch größere Zeitspannen auf. Während die 18-jährigen im Durchschnitt ihren Ruhepuls nach 19 Minuten erreichten, gelangten die 10 Jahre alten Mädchen erst nach der 35. Minute dazu.

Stellt man die Jungen und Mädchen der jeweils gleichen Altersgruppe gegenüber, so zeigt sich, daß die Mädchen in allen Altersstufen längere Zeitspannen bis zum Erreichen des Ruhewertes benötigten als die Jungen.

b) Zur Frage des Ermüdungspulsanstieges

Die im Vorhergehenden beschriebenen Ergebnisse ließen erkennen, daß die Pulsfrequenz bei den von uns untersuchten Kindern und Jugendlichen während einer Arbeit von 5 mkp/sec im Mittel kein konstantes Niveau erreichte. Vielmehr stieg die Pulsfrequenz bis zum Ende der Arbeit kontinuierlich weiter an, was bei den Mädchen deutlicher zutage trat als

bei den Jungen und bei den jüngeren Jahrgängen stärker als bei den älteren. Die Deutung dieses Phaenomens ist nicht ganz einfach, kann aber Hinweise auf Besonderheiten des Arbeitsverhaltens im Jugendalter vermitteln.

So konnte CHRISTENSEN (4) bei Erwachsenen zeigen, daß die Pulsfrequenz bei einer konstanten Arbeit einige Minuten nach Beginn derselben konstant wird und dieses Niveau beibehält, wenn es sich um Leistungen handelt, die von der Versuchsperson ohne Schwierigkeiten über Stunden hindurch ausgeführt werden könnten. Überstieg die verlangte Leistung aber die Kräfte der Versuchsperson, so kam es nach anfänglichem großem Anstieg der Pulsfrequenz zu Beginn der Arbeit zu einer stetig andauernden Zunahme des Pulses.

E.A.MÜLLER (20) deutete diesen Anstieg der Pulsfrequenz als eine Begleiterscheinung der Ermüdung der arbeitenden Versuchsperson und bezeichnete ihn als Ermüdungsanstieg der Pulsfrequenz. Zu diesem Ermüdungspulsanstieg kommt es nicht, wenn der Bedarf an Sauerstoff aller an der Muskelarbeit beteiligten Muskeln gedeckt wird. Dann ist also die Versuchsperson in der Lage, die verlangte Leistung ohne Begrenzung auszuführen. Wenn jedoch der Sauerstoffbedarf der arbeitenden Muskeln nicht voll gedeckt wird, so kann die Arbeit der Muskeln nur auf Kosten einer Abspaltung nichtoxydierter Stoffe erfolgen. Diese Stoffe werden vom Muskel an das Blut abgegeben und anderswo umgebaut. Dabei aber verarmen die Muskeln an Betriebsstoffen und sind so nicht mehr in der Lage, unbegrenzt weiter zu arbeiten. Die Zunahme der Pulsfrequenz stellt damit einen Versuch dar, das Sauerstoffdefizit auszugleichen. Doch kommt es dabei zu keiner Einstellung eines "steady-state-Niveaus".

Nach MÜLLER und HIMMELMANN (23) ist es nun möglich, die ermüdende Wirkung einer Arbeit aus ihrem Ermüdungspulsanstieg zu bestimmen. Für diese Bestimmung des Ermüdungspulses muß man den Energieumsatz und den Leistungspulsindex (LPI) nach MÜLLER der betreffenden Person kennen.

Nach MÜLLER und HIMMELMANN beträgt der Energieumsatz bei verschiedenen Personen während des Radfahrens nämlich je mkp Arbeit mit geringen Schwankungen 0.01 Kcal. Da der LPI den Anstieg der Pulsfrequenz pro Minute für einen Arbeitsanstieg von 60 mkp/min wiedergibt, entspricht dieser Pulsanstieg einem Umsatz von 0.6 kcal. Demnach ergibt der Quotient: $\frac{\text{LPI}}{0.6}$ den geringsten Pulsanstieg je kcal Arbeitsumsatz, welchen eine Versuchsperson aufweisen kann. Bei einer vorliegenden Arbeit errechnet sich damit die optimale, also niedrigste Pulsfrequenz nach der Formel:

$$\text{Optimalfrequenz} = \text{Arbeitsumsatz in kcal/min} \cdot \frac{\text{LPI}}{0.6}.$$

Wenn man die Optimalfrequenz ermittelt hat, so errechnet sich die "Ermüdungspulsfrequenz" als Differenz zwischen der Arbeitspulsfrequenz (d.i. Erhöhung der Pulsfrequenz während der Arbeit über die Ruhepulsfrequenz) und der Optimalfrequenz.

Da im Rahmen einer größeren Untersuchung von allen unseren Kindern der LPI bestimmt worden war, konnten wir diese Berechnung für unser Untersuchungsgut durchführen, obwohl wir den Energieumsatz nicht eigens bestimmt hatten. Auf diese Bestimmung des Sauerstoffverbrauches kann man nun gemeinhin gut verzichten, da der Arbeitsumsatz auch bei Personen verschiedenen Lebensalters nur geringe Unterschiede aufweist. Nach Angaben in der Literatur (MÜLLER (20); KIRCHHOFF, REINDELL und HAUSWALDT (12)) beträgt der Sauerstoffverbrauch bei einer Leistung am Fahrradergometer von 5 mkp/sec im Durchschnitt 530 cm³ Sauerstoff. Für die gleiche Leistung haben KRAUT (14) und Mitarbeiter nun einen mittleren RQ von 0.88 gefunden, woraus sich ein Energieumsatz von 2.6 cal/min. errechnet.

Setzt man diesen Wert unter Berücksichtigung der mittleren Leistungspulsindices der verschiedenen Alters- und Geschlechtsgruppen in die vorgenannte Gleichung ein, so ergeben sich die in Tabelle 7 aufgeführten Optimalfrequenzen. Diesen Optimalfrequenzen haben wir die Arbeitspulsfrequenz

in der 10. Arbeitsminute gegenübergestellt und aus beiden Werten den Ermüdungspulsanstieg für die einzelnen Altersstufen errechnet.

Tabelle 7 Mittlerer Ermüdungspulsanstieg der 10. Minute der jeweiligen Altersgruppen

Alter in Jahren	Mittlerer LPI	Optimalfrequenz	Arbeitspulsfrequenz in der 10. Arbeitsminute	Ermüdungspulse/Min.
Jungen				
10	7.03	30.5	65.2	34.7
12	5.91	25.4	48.9	23.5
14	5.66	24.4	43.1	18.7
16	4.02	17.3	33.1	15.8
18	3.21	13.8	29.9	11.1
Mädchen				
10	8.0	34.4	72.0	37.6
12	6.33	27.9	63.0	35.1
14	4.8	21.1	47.6	26.5
16	4.91	21.6	41.0	19.4
18	5.2	22.8	44.0	21.2

Aus der Tabelle 7 geht hervor, daß alle Altersgruppen einen Ermüdungspulsanstieg aufwiesen, doch war dieser um so geringer, je älter die betreffenden Probanden waren. So erreichte der Ermüdungspuls der 10-jährigen Jungen mit 34.7 Schlägen/Minute einen doppelt so großen Wert als die 18-jährigen. Das gleiche traf auch in etwa bei den Mädchen zu, bei denen die Gruppe der 10-jährigen in der 10. Minute einen Ermüdungspuls von 38 Schlägen hatte, während die 18-jährigen zum gleichen Zeitpunkt auf einen Ermüdungspulsanstieg von 21.2 Schlägen kamen.

Legt man diesen Beobachtungen die von MÜLLER und HIMMEL-MANN entwickelten Vorstellungen zugrunde, so würden unsere Befunde bedeuten, daß selbst bei Arbeit am Fahrradergometer der Sauerstoffbedarf aller an der Arbeit beteiligten Muskelgruppen vor allem in den jüngeren Altersstufen schon bei einer Arbeit von 5 mkp/sec nicht mehr voll gedeckt werden kann, was zu einer entsprechend stärkeren Ermüdung dieser Muskeln und des Gesamtorganismus führen muß.

c) Die Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit mit Hilfe von Pulssummen

Wie in der Literaturübersicht bereits dargelegt wurde, konnten KARRASCH und MÜLLER (10) beweisen, daß es nicht so sehr auf den zeitlichen Verlauf der Pulserhöhung bei einer Arbeit ankommt, sondern daß die Summe aller Pulsschläge über dem Ruhepuls sowohl während als auch nach der Arbeit zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit maßgeblich sind. Da die Pulsfrequenz beim Übergang von Ruhe auf Arbeit zunächst stärker ansteigt, um sich dann zu einem bei jedem Menschen verschiedenen Zeitpunkt auf ein dem Grad der Arbeit entsprechendes Niveau einzustellen, oder aber ein solches Niveau nie erreicht, hielten sie die Summe der über dem Ruhewert gefundenen Pulse für einen besseren Maßstab der individuellen Leistungsfähigkeit. Da nach dieser Auffassung mit Aufhören der Arbeit noch nicht wieder die Ausgangslage des Organismus erreicht ist, sondern dann noch die durch die Arbeit verursachte Sauerstoffschuld getilgt werden muß, führten sie den Begriff der Erholungspulssumme ein. Hierbei wird nicht so sehr die zeitliche Komponente der Erholungszeit berücksichtigt, sondern wiederum sämtliche Pulsschläge, die über einem Ruhenniveau des Probanden gezählt werden.

Wie die Abbildungen 1 und 2 erkennen lassen, kann man auch in unseren Versuchen das Leistungsverhalten nicht nur durch den Wert der Pulsfrequenz zu einem bestimmten Zeitpunkt der Arbeits- oder Erholungsphase charakterisieren. Vielmehr

empfiehlt es sich, den gesamten Verlauf in der Arbeits- und Restitutionsphase zu berücksichtigen. Zu diesem Zwecke haben wir bei allen Kindern die Arbeitspulssumme (= "Pulssumme während der Arbeit nach KARRASCH und MÜLLER"), die Erholungspulssumme und die Gesamtpulssumme (= Arbeitspulssumme nach KARRASCH und MÜLLER) berechnet und sie in Beziehung zum Lebensalter und zur körperlichen Entwicklung gesetzt.

Bei unseren Untersuchungen bezüglich der Arbeitspulssumme konnten wir eine altersabhängige Beziehung feststellen. Die Arbeitspulssumme wurde bei einer Arbeit von 5 mkp/sec in einer Zeit von 10 Minuten ermittelt. Tabelle 8 gibt die Durchschnittswerte der jeweiligen Altersstufen wieder.

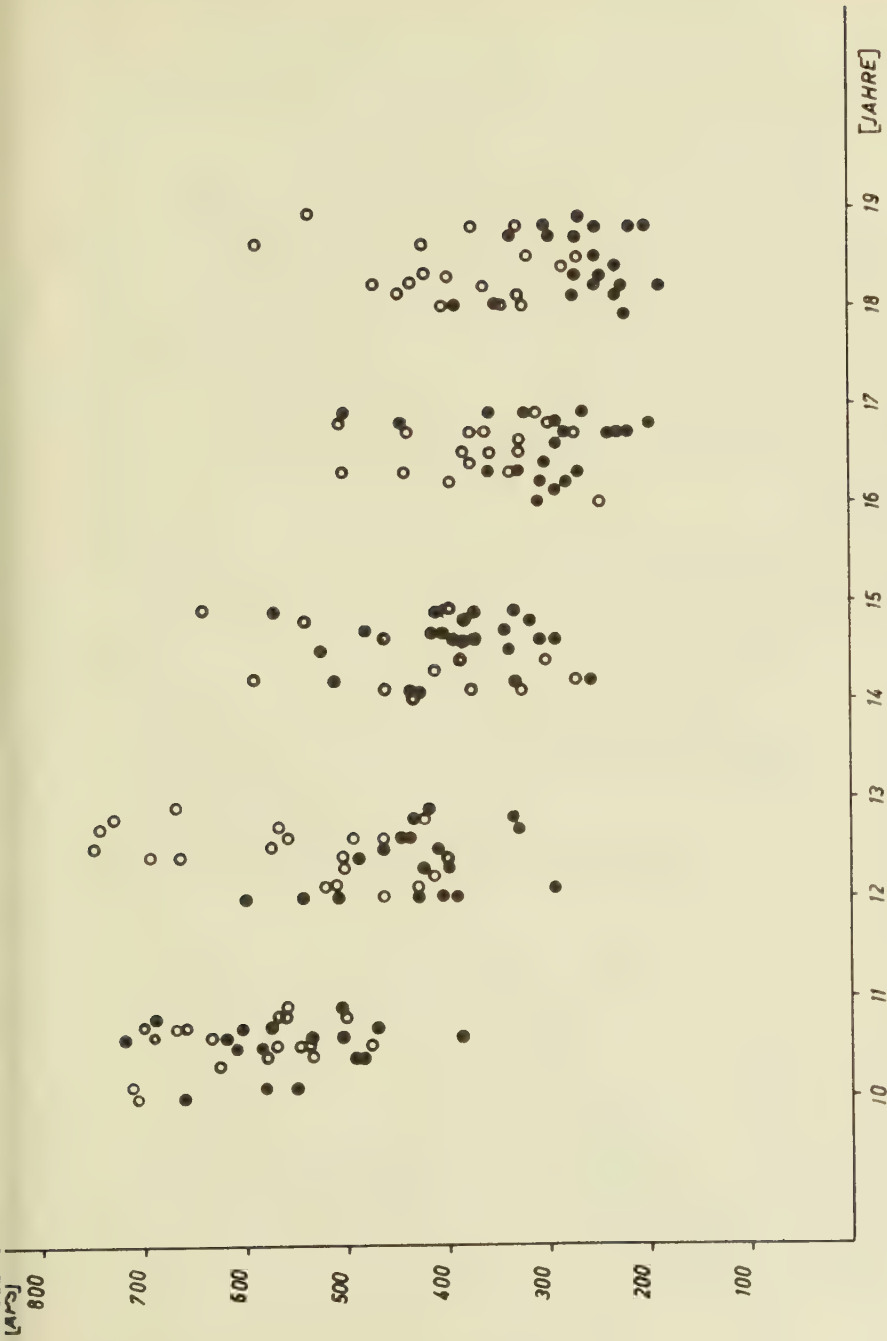


Abbildung 2 Beziehung zwischen den Werten der Arterispulssumme und dem Alter der Versuchspersonen

aa) Die Abhängigkeit verschiedener Pulssummen vom
Lebensalter

Einen ersten Überblick über die Abhängigkeit der Arbeitspulssumme von Lebensalter und Geschlecht vermittelt die Abbildung 3. Hier erkennt man, daß die Arbeitspulssummen für die gleichen Leistungen mit zunehmendem Lebensalter geringer werden; außerdem fällt auf, daß in gleichen Altersstufen die Jungen niedrigere Arbeitspulssummen aufweisen als die Mädchen. Allerdings weichen die ermittelten Werte erst ab dem 16. Lebensjahr deutlich voneinander ab.

Eine genauere Analyse dieses Befundes vermittelt die Tabelle.

Arbeitspulssumme (APS)

Wie aus der Tabelle 8 ersichtlich ist, betrug die Arbeitspulssumme der 10-jährigen Jungen 569, die der gleichaltrigen Mädchen 602. Die Gruppen der 12-jährigen erreichten eine Arbeitspulssumme von 425 bzw. 555. Während die 14-jährigen Jungen einen Wert von 390 aufwiesen, hatten die entsprechend alten Mädchen einen Arbeitspuls von 415 Schlägen. Die 16-jährigen männlichen Jugendlichen unterschieden sich mit ihrem durchschnittlichen Arbeitspuls von 305 Schlägen von den Mädchen, die einen Wert von 352 aufwiesen. Dem Arbeitspuls von 267 der 18-jährigen Jugendlichen stand der Arbeitspuls von 380 der gleichaltrigen Mädchen gegenüber.

Wie aus diesen Zahlen ersichtlich, besteht sowohl bei den Jungen als auch bei den Mädchen mit zunehmendem Alter eine fallende Tendenz der Arbeitspulssumme. Die Werte der gleichaltrigen Mädchen lagen jeweils höher als die der entsprechend alten Jungen.

Betrachtet man die Differenzen der Arbeitspulssummen aneinandergrenzender Altersgruppen, so bestehen gewisse Auffälligkeiten. Die Unterschiede der einzelnen Durchschnittswerte sind nicht gleich groß. So hatten wir bei den Jungen zwischen den 10- und den 12-jährigen, sowie zwischen den

Tabelle 8

Veränderungen der Arbeitspulssumme in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht der Versuchspersonen.
(Prüfung der Mittelwertsunterschiede mit Hilfe der t-Funktion).

	10 Jahre			Diff. 10:12	12 Jahre			Diff! 12:14	14 Jahre			Diff. 14:16	16 Jahre			Diff. 16:18	18 Jahre		
	AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n
♂	569	88	18	144 ^{xx}	425	73	18	(35)	390	85	20	85 ^x	305	77	20	(38) ^x	267	50	20
Diff. ♂: ♀	(33)				130 ^{xx}				(25)				(47) ^x				113 ^{xx}		
	AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n
♀	602	66	20	(47)	555	108	20	140 ^{xx}	415	86	19	(63) ^x	352	84	20	(28)	380	79	20

{ } = nicht signifikant
 x = wahrscheinlich signifikant
 x = signifikant
 xx = sehr signifikant

Tabelle 9

Mittlere Werte der Arbeitspulssumme von verschiedenen Altersgruppen.
(Prüfung der Mittelwertsunterschiede mit Hilfe der t-Funktion).

	10 Jahre			Diff. 10:12/14	12-14 Jahre			Diff. 12/14:16/18	16-18 Jahre		
	AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n
♂	569	88	18	161 ^{xx}	408	81	38	122 ^{xx}	286	67	40
Diff. ♂, ♀	(33)				79 ^x				81 ^{xx}		
	AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n
♀	602	66	20	115 ^{xx}	487	121	39	120 ^{xx}	367	83	40

() = nicht signifikant

()^x = wahrscheinlich signifikant

x = signifikant

xx = sehr signifikant

14- und den 16-jährigen größere Differenzen als zwischen den anderen Altersstufen. Bei den Mädchen besteht mit Ausnahme der Differenz zwischen den 12- und den 14-jährigen das gleiche Bild.

Wir haben darum die einzelnen Differenzen auf ihre statistische Signifikanz geprüft und konnten zwischen den 10- und 12-jährigen Buben einen "sehr signifikanten" Unterschied feststellen. Die Differenz zwischen den nächsthöheren Altersklassen war nicht signifikant. Zwischen den 14- und den 16-jährigen bestand ein signifikanter Unterschied, während die 16- bis 18-jährigen Jungen "wahrscheinlich signifikant" unterschieden waren.

Wie schon erwähnt, beobachteten wir bei den Mädchen ähnliche Verhältnisse. Zwischen den 10- und den 12-jährigen fanden wir keinen signifikanten Unterschied; jedoch bestand zwischen den 12- und den 14-jährigen eine "sehr signifikante" Differenz. Die 14- und die 16-jährigen waren voneinander "wahrscheinlich signifikant" unterschieden. Die Differenz zwischen den 16- und den 18-jährigen Mädchen war nicht mehr signifikant.

Berechnete man die Signifikanz zwischen den Jungen und Mädchen der jeweiligen gleichen Altersstufen, so ergab sich bei den 10-jährigen keine Signifikanz. Das gleiche galt ebenso für die 14-jährigen. Bei den 12- und den 18-jährigen bestand ein sehr signifikanter Unterschied, wohingegen die 16-jährigen nur "wahrscheinlich signifikant" unterschieden waren.

Da sich bei den Jungen nur zwischen den 10- und den 12-jährigen und zwischen den 14- und den 16-jährigen ein signifikanter Unterschied zeigte, haben wir die 12- und die 14-jährigen, sowie die 16- und die 18-jährigen zu je einer Gruppe zusammengefaßt und hierfür die Mittelwerte der Arbeitspulssummen berechnet. Dabei betrug die Arbeitspulssumme für die Gruppe der 12- bis 14-jährigen Jungen 408 und die der Mädchen 487 Schläge. Die Gruppen der ältesten Jungen wiesen eine Arbeitspulssumme von 286, die der Mädchen von 367 auf.

Tabelle 10

Veränderungen der Erholungspulssumme in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht der Versuchspersonen.
(Prüfung der Mittelwertsunterschiede mit Hilfe der t-Funktion).

	10 Jahre			Diff. 10:12	12 Jahre			Diff. 12:14	14 Jahre			Diff. 14:16	16 Jahre			Diff. 16:18	18 Jahre		
	AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n
♂	115	79	18	(38)	77	56	18	(28)	49	40	20	(11)	38	23	20	(6)	32	25	20
Diff. ♂:♀	125 ^x				113 ^{xx}				(34)				(34)				(48) ^x		
	AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n
♀	210	141	20	(50)	190	112	20	107 ^x	83	68	19	(11)	72	84	20	(8)	80	83	20

{ } x = nicht signifikant
 x = wahrscheinlich signifikant
 x = signifikant
 xx = sehr signifikant.

Tabelle 11

Mittlere Werte der Erholungspulssumme von verschiedenen Altersgruppen.
(Prüfung der Mittelwertsunterschiede mit Hilfe der t-Funktion.)

	10 Jahre			Diff. 10:12/14	12-14 Jahre			Diff. 12/14:16/18	16-18 Jahre		
	AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n
♂	115	79	18	54 ^x	61	50	38	26 ^x	35	24	40
Diff. ♂ : ♀	125 ^x				77 ^{xx}				42 ^x		
	AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n
♀	240	141	20	102 ^x	138	108	39	61 ^x	77	84	40

() = nicht signifikant

()^x = wahrscheinlich signifikant

x = signifikant

xx = sehr signifikant

Bei einer Prüfung dieser Werte auf ihre statistische Signifikanz sowohl bezüglich der einzelnen Altersgruppen gleichen Geschlechts, als auch der gleichaltrigen Gruppen verschiedenen Geschlechts zeigte sich bei jeder Berechnung ein "sehr signifikanter" Unterschied (Tabelle 9).

Wie schon oben erwähnt, ermittelten wir für jedes Kind auch seine Erholungspulssumme. Darunter verstehen wir die Summe aller Pulsschläge, die nach Beendigung der Arbeit über dem Ruhepuls lagen. Aus allen Einzelwerten berechneten wir die Mittelwerte für die Erholungspulssumme der jeweiligen Altersgruppen. Auch diese Werte zeigten altersabhängige Veränderungen. Wie aus der Tabelle 10 ersichtlich, ergab sich nämlich mit steigendem Alter eine Abnahme der Erholungspulssumme. Eine Ausnahme bildeten nur die 16- und 18-jährigen Mädchen, da bei diesen beiden Altersgruppen die jüngeren sogar eine niedrigere durchschnittliche Erholungspulssumme aufwiesen, als die um 2 Jahre älteren Probandinnen.

Im einzelnen wiesen die 10-jährigen Buben eine durchschnittliche Erholungspulssumme von 115 Schlägen auf. Nach der gleichen Arbeit benötigten die 18-jährigen in der Erholungsphase insgesamt nur 32 Pulsschläge über dem Ruheniveau. Somit zeigten die kleinsten Buben etwa $3 \frac{1}{2}$ mal so viele Pulsschläge über dem Ruhepuls als die von uns untersuchten ältesten Jungen. Bei den Mädchen war das Verhältnis etwas niedriger. Hier war die Erholungspulssumme der 10-jährigen mit 240 Schlägen um $3 \frac{1}{4}$ mal größer als die der 16-jährigen, die die geringste Erholungspulssumme aufwiesen. Die 12-jährigen Buben erreichten einen Erholungspuls von 77, die 14-jährigen von 49 Schlägen. Die 16-jährigen standen mit ihrer Erholungspulssumme von 38 Schlägen kaum den 18-jährigen Jünglingen nach. Die 12-jährigen Mädchen hatten mit 190 Schlägen mehr als die doppelte Erholungspulssumme wie die gleichaltrigen Buben. Die 14-jährigen Mädchen kamen auf eine Erholungspulssumme von 83 Schlägen, die 16-jährigen auf eine von 72 Schlägen/min. Die ältesten Mädchen lagen mit einem Durchschnittswert der Erholungspulssumme von 80 Schlägen etwas über dem Wert der um 2 Jahre jüngeren Altersgruppe.

Mit Ausnahme der Differenz zwischen den 10- und den 12-jährigen Mädchen wurden die Differenzen zwischen den einzelnen Erholungspulsen mit zunehmendem Alter geringer. Wir haben die Differenzen benachbarter Altersgruppen wiederum auf ihre Signifikanz geprüft. Bei den verschiedenen Altersgruppen der Jungen ergab sich dabei nie eine Signifikanz. Auch bei den Mädchen konnten wir nur zwischen den Gruppen der 12 bzw. 14-jährigen eine signifikante Differenz ermitteln.

Bei einer Prüfung gleicher Altersgruppen verschiedenen Geschlechts ergab sich ein signifikanter Unterschied bei den 10-jährigen und den 12-jährigen, sowie eine "wahrscheinliche Signifikanz" bei den 18-jährigen. Die 14- und die 16-jährigen Jungen und Mädchen waren nicht signifikant voneinander unterschieden.

Da die Erholungspulssummen der verschiedenen Altersstufen der Jungen keine signifikanten Unterschiede aufwiesen, faßten wir wiederum die 12- und die 14-jährigen, sowie die 16- und die 18-jährigen zu einer Altersgruppe zusammen und berechneten auch für diese Gruppen die arithmetischen Mittel sowie die Sigmata der Erholungspulssummen.

Wie die Tabelle 11 zeigt, betrug die Erholungspulssumme der jüngsten Buben 115 Schläge, die der mittleren 61, während die 16- bis 18-jährigen Jungen eine Erholungspulssumme von 35 Schlägen aufwiesen. Die entsprechenden Erholungspulswerte der Mädchen waren 240 bei den jüngsten, 138 Schläge bei den mittleren und 77 bei den ältesten Probandinnen.

Bei einer Berechnung, in welchem Maße sich diese Gruppen voneinander unterschieden, erwiesen sich alle Differenzen als "signifikant". Zwischen den Gruppen der 12- bis 14-jährigen Jungen bzw. Mädchen bestand sogar eine "sehr signifikante" Differenz.

Gemäß der von KARRASCH und MÜLLER (10) vertretenen Auffassung gehört zur Beurteilung einer Kreislaufbelastung die gesamte durch die Arbeit verursachte Pulserhöhung. Diese Summe der Pulsschläge, die sowohl während der Arbeit als auch in der

Erholungsphase über dem Ruhepuls lagen, nannten wir also abweichend von KARRASCH und MÜLLER, aber im Einklang mit NÖCKER und BÖHLAU (26), Gesamtpulssumme. Von den für jeden Proband ermittelten Werten berechneten wir für die jeweiligen Altersgruppen wiederum die arithmetischen Mittelwerte und Sigmata.

Wie die Tabelle 12 zeigt, ähneln die Ergebnisse denen der Arbeitspulssummen. So zeigte sich mit zunehmendem Alter eine Abnahme der Gesamtpulssumme. Nach unseren Berechnungen erreichten die 10-jährigen Jungen eine Gesamtpulssumme von 689. Der Wert der gleichaltrigen Mädchen betrug 840. Für die 12-jährigen errechneten wir eine durchschnittliche Gesamtpulssumme von 511, für die Mädchen dieser Altersstufe eine von 745. Die 14-jährigen männlichen Probanden erreichten einen Mittelwert von 442, die entsprechenden Mädchen hatten 497 Pulsschläge über ihrem Ruhepuls. Während die 16-jährigen Jünglinge auf eine Gesamtpulssumme von 348 Schlägen kamen, betrug der Durchschnittswert der 18-jährigen 299.

Somit zeigten schon die jüngeren Mädchengruppen weit höhere Gesamtpulssummen als die gleichaltrigen Jungen; besonders deutlich unterschieden sich aber die 16-jährigen Mädchen mit einer Gesamtpulssumme von 430 und die 18-jährigen mit 465 von den Werten der gleichaltrigen männlichen Versuchspersonen.

Prüfte man die Differenzen der einzelnen Alters- und Geschlechtsgruppen auf ihre statistische Signifikanz, so waren die 10- und die 12-jährigen sehr signifikant voneinander unterschieden. Zwischen den beiden 12- und 14-jährigen Altersgruppen bestand keinerlei Signifikanz. Während der Unterschied zwischen den 14- und den 16-jährigen "signifikant" war, war er bei den 16- und den 18-jährigen nur "wahrscheinlich signifikant". Bei den Mädchen waren nur die 12- und die 14-jährigen sehr signifikant verschieden, während wir bei allen anderen Altersklassen keine Signifikanz feststellen konnten.

Stellte man die Gruppen der gleichaltrigen Buben und Mädchen gegenüber, so erwiesen sich mit Ausnahme der Gruppen der 14-jährigen alle Differenzen als signifikant. Der Unterschied zwischen den 18-jährigen Mädchen und Jungen ist sogar sehr signifikant.

Veränderungen der Gesamtpulssumme in Abhängigkeit
von Alter und Geschlecht der Versuchspersonen.
(Prüfung der Mittelwertsunterschiede mit Hilfe der t-Funktion).

	10 Jahre			Diff. 10:12	12 Jahre			Diff. 12:14	14 Jahre			Diff. 14:16	16 Jahre			Diff. 16:18	18 Jahre		
	AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n
♂	689	146	18	178 ^{xx}	511	117	18	(69)	442	113	20	94 ^x	348	81	20	(49) ^x	299	62	20
Diff. ♂:♀	151 ^x				234 ^x				(55)				82 ^x				166 ^{xx}		
	AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n
♀	840	184	20	(95)	745	302	20	248 ^{xx}	497	130	19	(67)	430	142	20	(35)	465	152	20

{ } = nicht signifikant
 x = wahrscheinlich signifikant
 x = signifikant
 xx = sehr signifikant

Tabelle 13

Mittlere Werte der Gesamtpulssumme von verschiedenen Altersgruppen.
(Prüfung der Mittelwertsunterschiede mit Hilfe der t-Funktion).

	10 Jahre			Diff. 10:12/14	12-14 Jahre			Diff. 12/14:16/18	16-18 Jahre		
	AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n
♂	689	146	18	214 ^{xx}	475	120	38	151 ^{xx}	324	75	40
Diff. ♂ : ♀	151 ^x				152 ^{xx}				129 ^{xx}		
	AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n
♀	840	184	20	213 ^{xxx}	627	214	39	174 ^{xxx}	453	152	40

() = nicht signifikant

()^x = wahrscheinlich signifikant

x = signifikant

xx = sehr signifikant

Die Tabelle 13 zeigt schließlich noch die Gesamtpulswerte nach Zusammenfassung der Altersgruppen wie sie schon bei den Arbeitspulssummen und bei den Erholungspulssummen vorgenommen wurden. Dabei ergab sich für die jüngsten Buben ein Mittelwert von 689 bei den mittleren einer von 475, während die älteste Altersgruppe einen Mittelwert von 324 aufwies. Die entsprechenden Werte der Mädchen waren 840 bei den 10-jährigen, 627 bei den 12- und 14-jährigen und 453 bei den 16- und 18-jährigen. Eine Berechnung der Signifikanz sowohl der Jungen und Mädchen untereinander als auch der gleichaltrigen Jungen- und Mädchengruppen miteinander ergab mit Ausnahme der Differenz der 10-jährigen Jungen und Mädchen, bei allen Differenzen einen sehr signifikanten Unterschied. Die Gruppen der 10-jährigen waren als "signifikant" unterschieden.

bb) Die Abhängigkeit verschiedener Pulssummen von der körperlichen Entwicklung

Die vorstehende Besprechung ergab, daß die verschiedenen Pulssummen eine Abhängigkeit vom Alter aufwiesen. So nahmen sowohl die Arbeitspulssumme, die Erholungspuls- und die Gesamtpulssumme mit zunehmendem Alter ab, wobei die Differenzen zum größten Teil signifikant voneinander unterschieden waren. Gleichzeitig ergab sich ein Unterschied bei den Pulssummen gleichaltriger Jungen und Mädchen. Da es mir aber von nicht unerheblichem Interesse erscheint, welche Beziehungen zwischen den Pulswerten und der körperlichen Entwicklung bestehen, haben wir auch diese Abhängigkeit näher untersucht.

Zur bildlichen Darstellung haben wir die gefundenen Einzelwerte der Arbeitspulssummen, sowie die Alters- und Körperdaten in Diagrammen aufgezeichnet. In diesen Diagrammen ist auf der Ordinate jeweils die Arbeitspulssumme, auf der Abszisse entweder die Körpergröße in cm, das Körpergewicht in Kilogramm oder die Körperoberfläche in Quadratmetern

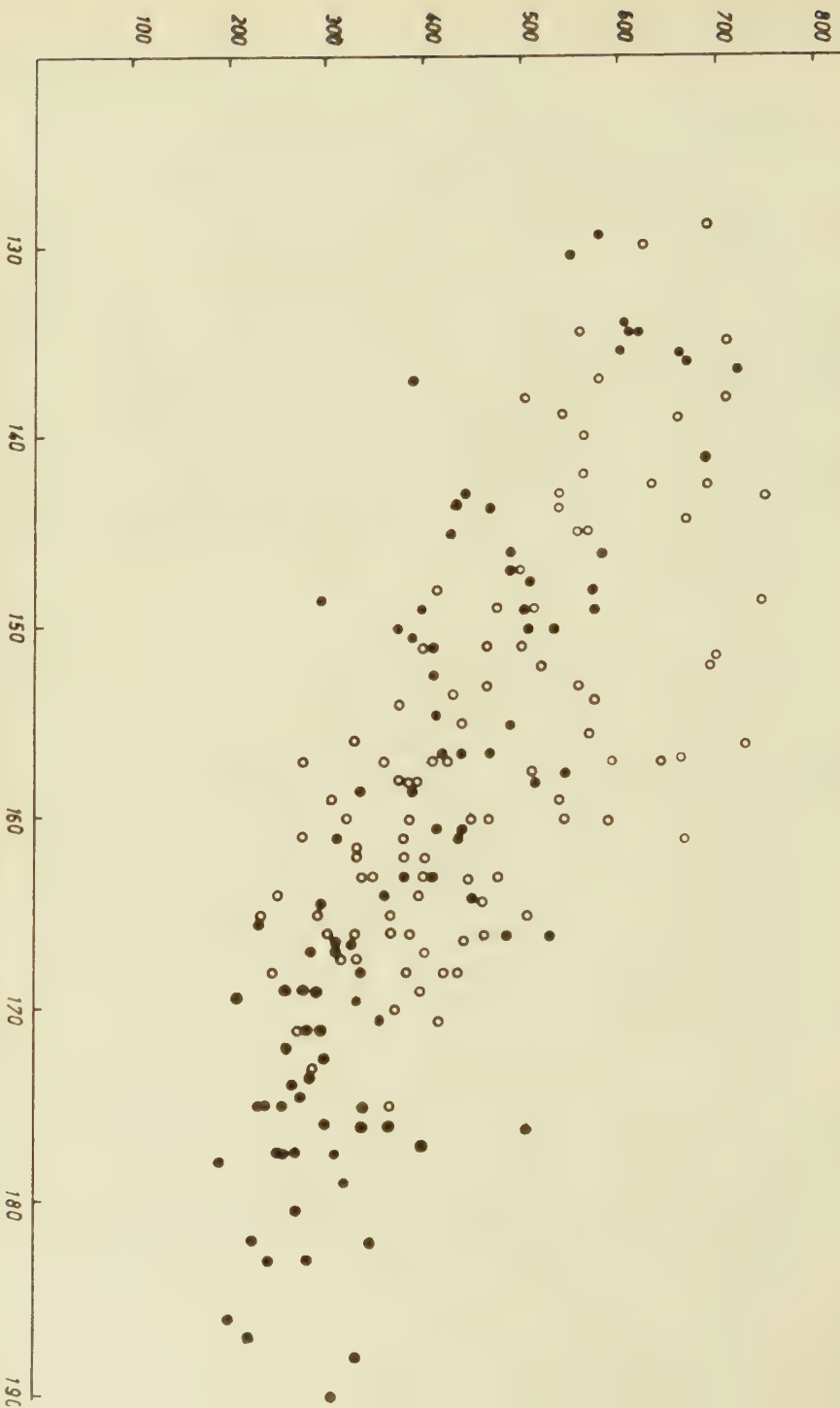


Abbildung 4

Beziehung zwischen den Werten der Arbeitspulssumme und dem Körpergewicht der Versuchspersonen

Grösse [cm]

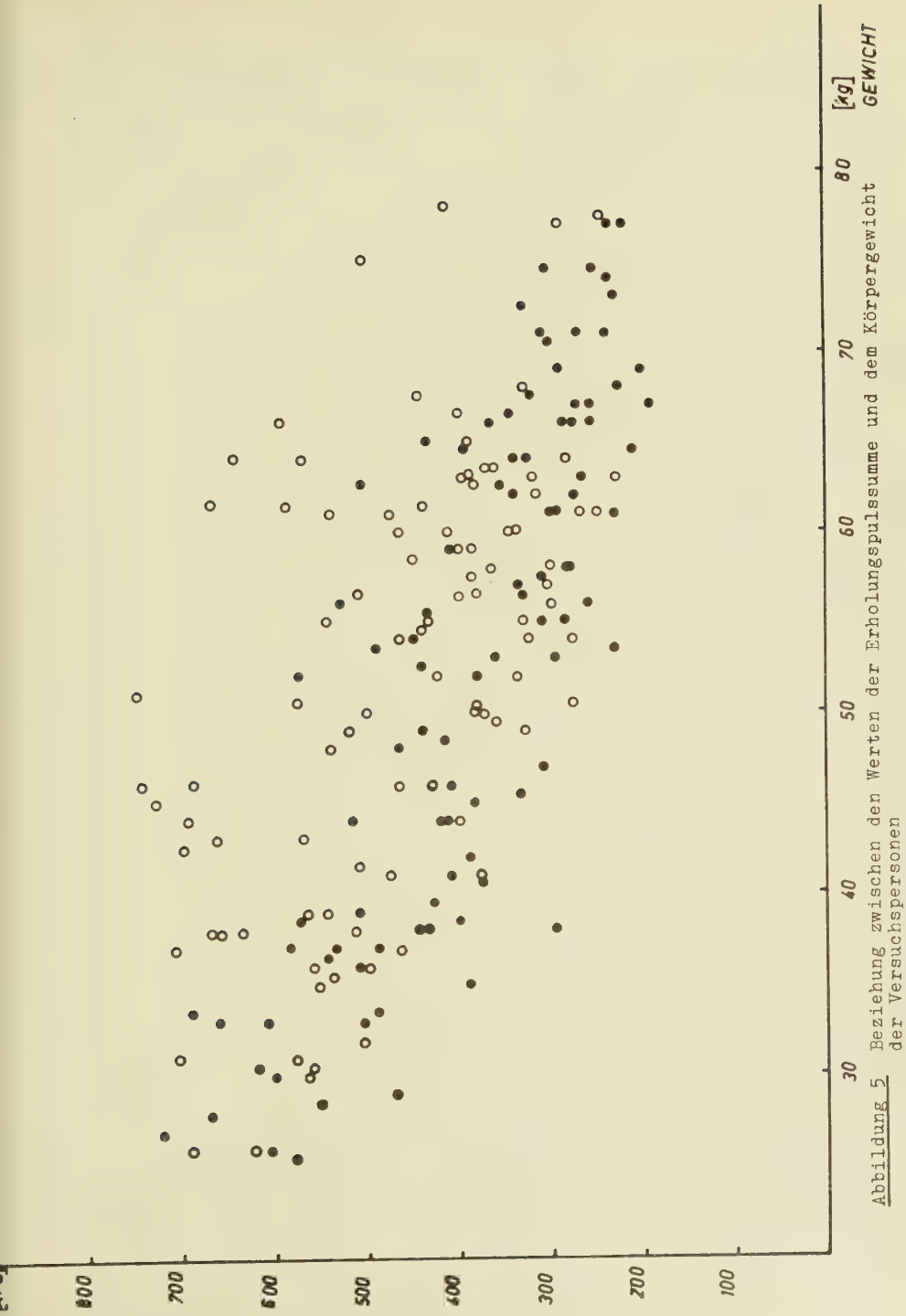


Abbildung 5 Beziehung zwischen den Werten der Erholungspulssumme und dem Körpergewicht der Versuchspersonen



Abbildung 6

Beziehung zwischen den Werten der Arbeitspulssumme und der Körperoberfläche der Versuchspersonen

[qm]

OBERFLÄCHE

[EPS]

400

350

300

250

200

150

100

50

1.0

1.1

1.2

1.3

1.4

1.5

1.6

1.7

1.8

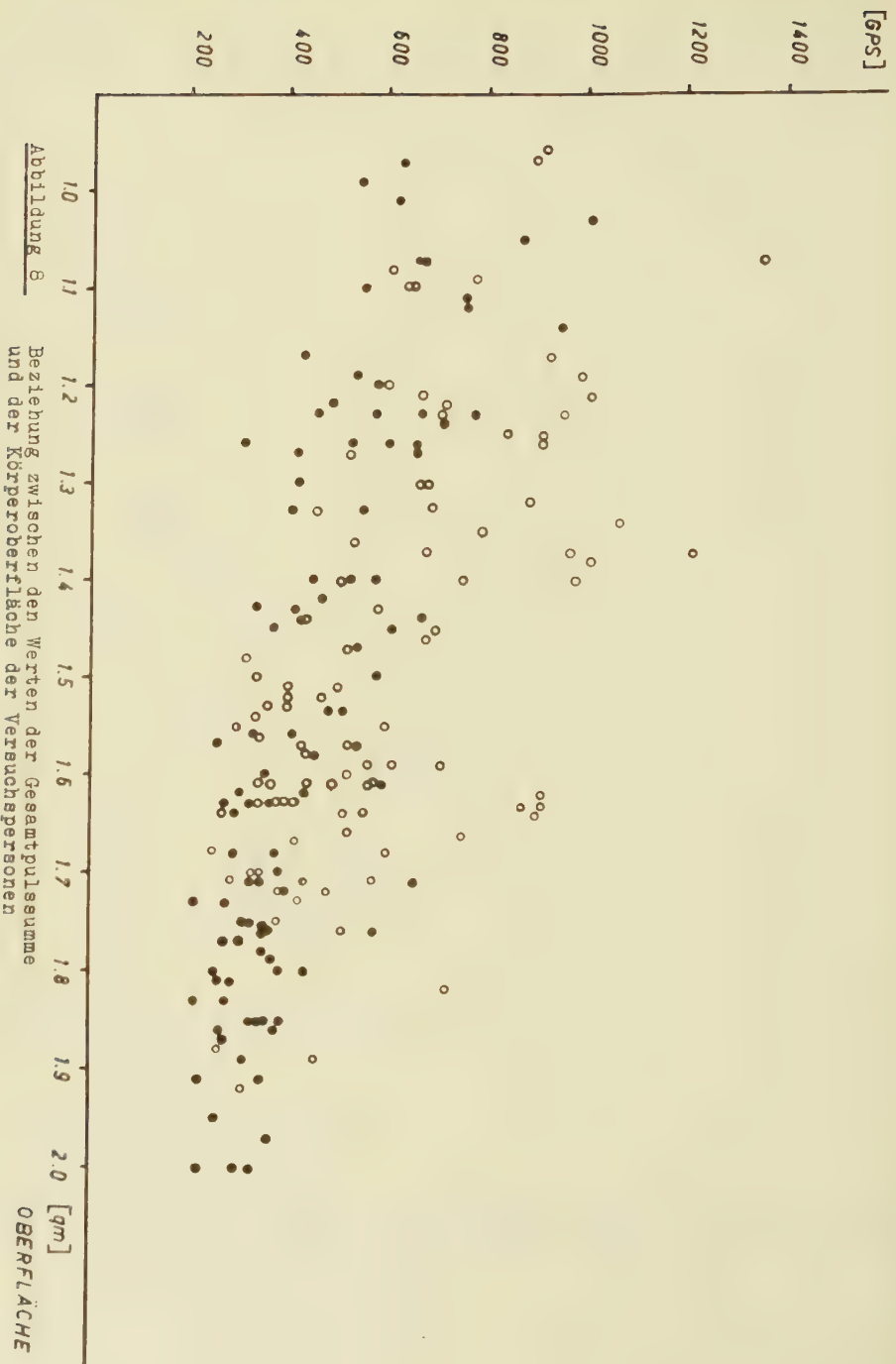
1.9

2.0

[g_m]

Oberfläche

Abbildung 7 Beziehung zwischen den Werten der Erholungspulssumme und der Körperoberfläche der Versuchspersonen



aufgetragen. Die Werte der Jungen sind mit einem schwarz ausgefüllten Kreis, die der Mädchen mit einem weißen Kreis dargestellt.

In der Abbildung 4 haben wir die Arbeitspulssummen als Funktion der Körperlänge dargestellt. Daraus ist ersichtlich, daß die Arbeitspulssumme umso größer ist, je kleiner die betreffende Versuchsperson war. Auch hier wiesen die Mädchen wiederum eine größere Streubreite auf, als die Jungen; dies gilt vor allem im Bereich der mittleren Körpergrößen.

In Abbildung 5 haben wir die Werte der Arbeitspulssumme als Funktion des Körpergewichtes wiedergegeben. Auch hier läßt sich eine gewisse lineare Abhängigkeit der Arbeitspulssumme vom Körpergewicht erkennen, wenn auch vor allem wieder die Mädchen eine größere Streuung bezüglich ihrer Arbeitspulssumme aufwiesen. Ähnliche Beziehungen ergaben sich für die Abhängigkeit der Arbeitspulssumme von der Körperoberfläche, welche in Abbildung 6 dargestellt wurde.

Grundsätzlich andere Verhältnisse ergaben sich für die Beziehung zwischen der Körperoberfläche und der Erholungspulssumme, was ohne Schwierigkeiten aus dem Vergleich zwischen Abbildung 6 und Abbildung 7 ersehen werden kann. Hier ist die Streuung vor allem im Bereich niederer Körperoberflächen außerordentlich groß. Für die Beziehung zwischen der Erholungspulssumme und der Körpergröße bzw. dem Körpergewicht wurden praktisch gleiche Befunde erhoben.

Abschließend haben wir in Abbildung 8 noch die Gesamtpulssumme als Funktion der Körperoberfläche aufgetragen, und man erkennt, daß sich nun wieder die Befunde den oben beschriebenen Verhältnissen (Abbildung 6) für die Beziehung zwischen Arbeitspulssumme und Körperoberfläche angenähert haben. Offenbar variiert die Erholungspulssumme innerhalb der Gesamtpulssumme das Gesamtbild nur noch unwesentlich.

Um die dargestellten Ergebnisse näher zu analysieren, wurden für die Beziehungen zwischen den einzelnen Pulssummen und den Alters- und körperlichen Entwicklungsdaten die Maß-

Tabelle 14

Differenzen zwischen den gefundenen Korrelationskoeffizienten getrennt für Jungen und Mädchen. (Prüfung d. Korrelationsunterschiede über die z -Differenzfunktion)

	Alter			Diff. $z_1:z_2$	Körpergröße			Diff. $z_2:z_3$	Körpergewicht			Diff. $z_3:z_4$	Körperoberfläche			Diff. $z_1:z_4$
	r	z	n		r	z	n		r	z	n		r	z	n	
APS ♂	-0,77	1,020	96	(0,080)	-0,80	1,100	96	(0,233)	-0,87	1,333	96	(0,176)	-0,82	1,157	96	(0,137)
♂ : ♀	(0,245)				(0,307)				0,820 ^{XX}				0,644 ^{XX}			
APS ♀	-0,69	0,775	99	(0,018)	-0,66	0,793	98	(0,280)	-0,51	0,513	98	(0,000)	-0,51	0,513	98	(0,262)
♂ : ♂	0,586 ^{XX}				0,640 ^{XX}				0,861 ^{XX}				0,685 ^{XX}			
APS:EPS ♀ : ♀	(0,239)				(0,217)				(0,077)				(0,010)			
EPS ♂	-0,45	0,434	96	(0,026)	-0,43	0,460	96	(0,012)	-0,44	0,472	96	(0,000)	-0,44	0,472	96	(0,038)
♂ : ♀	(0,102)				(0,116)				(0,036)				0,051)			
EPS ♀	-0,49	0,536	99	(0,040)	-0,52	0,576	98	(0,140)	-0,41	0,436	98	(0,087)	-0,48	0,523	98	(0,013)
♂ : ♂	0,494 ^{XX}				0,490 ^{XX}				(0,436)				0,573 ^{XX}			
EPS:GPS ♀ : ♀	(0,173)				(0,182)				(0,077)				(0,089)			
GPS ♂	-0,73	0,928	96	(0,022)	-0,74	0,950	96	(0,042)	-0,72	0,908	96	(0,137)	-0,78	1,045	96	(0,117)
♂ : ♀	(0,219)				(0,192)				(0,395)				(0,433)			
GPS ♀	-0,61	0,709	99	(0,049)	-0,64	0,758	98	(0,245)	-0,51	0,513	98	(0,099)	-0,58	0,612	98	(0,097)
♂ : ♂	(0,181)				(0,150)				(0,425)				(0,112)			
APS:GPS ♀ : ♀	(0,066)				(0,035)				(0,000)				(0,099)			

korrelationen berechnet. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Tabelle 14 aufgeführt.

Tabelle 14 zeigt die Korrelationskoeffizienten getrennt nach Geschlechtern. Gleichzeitig sind dabei die entsprechenden z-Werte angegeben. Man kann aus dieser Tabelle ersehen, daß bei den Jungen mit -0.87 der beste Korrelationskoeffizient zwischen der Arbeitspulssumme und dem Körpergewicht besteht. Bei den Mädchen ergab sich mit 0.69 der beste Wert bei Gegenüberstellung der Arbeitspulssummen mit dem Alter. Den schlechtesten Koeffizienten erhielten wir bei den Jungen für die Beziehung zwischen Arbeitspulssumme und Körpergröße mit -0.80 und bei den Mädchen für die Beziehung zwischen Arbeitspulssumme und Körpergröße mit der Körperoberfläche, deren Werte mit -0.51 gleich groß waren.

Insgesamt wesentlich niedrigere Korrelationskoeffizienten ermittelten wir für die Erholungspulssumme. Bei den Jungen bestand der höchste Korrelationskoeffizient von -0.45 für die Beziehung zwischen der Erholungspulssumme und dem Alter, bei den Mädchen mit -0.52 zwischen Erholungspulssumme und Körpergröße. Der niedrigste Wert ergab sich bei den Jungen für die Körpergröße und bei den Mädchen für das Körpergewicht.

Bei der Gesamtpulssumme zeigte sich bei der Körperoberfläche der Jungen und bei der Körpergröße der Mädchen der beste Korrelationskoeffizient mit -0.78 bzw. -0.64 . Das schlechteste Verhältnis ließ sich sowohl bei den Jungen als auch bei den Mädchen mit einem Koeffizienten von -0.72 bzw. -0.51 bezüglich des Körpergewichtes feststellen.

Sämtliche Korrelationskoeffizienten unterschieden sich signifikant von einer mit 6 angenommenen Korrelation. Damit ergab sich, daß bei allen Korrelationen echte Zusammenhänge bestehen. Da es uns weiter von Interesse schien, ob die Korrelationen untereinander signifikant verschieden waren, prüften wir die Unterschiede über die z-Transformation. Das Ergebnis ist aus Tabelle 14 ersichtlich.

So fanden wir für den Wert gleicher Korrelationen zwischen Jungen und Mädchen nur bei der Arbeitspulssumme und dem Körpergewicht, sowie bei der Arbeitspulssumme und der Körperoberfläche einen signifikanten Unterschied.

Bei den Buben waren bis auf eine Ausnahme alle Korrelationen der Arbeitspulssumme zu den Körperdaten signifikant verschieden. Bei den Mädchen traf dies in keinem Fall zu. Auch konnten wir niemals einen signifikanten Unterschied zwischen den Korrelationskoeffizienten der Arbeitspulssumme mit dem Alter und dem Koeffizienten der Arbeitspulssumme mit der Körpergröße u.s.w. feststellen. Das gleiche traf auch ebenso bei der Erholungs- und Gesamtpulssumme zu.

Da sich die entsprechenden Korrelationskoeffizienten der Buben und Mädchen bis auf zwei Ausnahmen, nämlich für die Beziehung zwischen der Arbeitspulssumme und dem Körpergewicht sowie der Arbeitspulssumme und der Körperoberfläche nicht signifikant unterschieden, haben wir das Verhältnis für Jungen und Mädchen außerdem noch gemeinsam berechnet. In Tabelle 15 sind diese Korrelationskoeffizienten aufgeführt.

Bei dieser Berechnung ergab sich, daß das beste Verhältnis jeweils zwischen den Pulssummen und der Körpergröße bestand. Dann folgten die Korrelationskoeffizienten, die sich aus den Alterswerten und den Pulssummen berechnen ließen mit $APS/Alter$ von -0.69 , $EPS/Alter$ von -0.44 und $GPS/Alter$ von -0.63 . Die schlechtesten Werte zeigten sich beim Vergleich der Pulssummen mit dem Körpergewicht, wobei die Koeffizienten $APS/Gewicht$ -0.65 , $EPS/Gewicht$ -0.37 und $GPS/Gewicht$ -0.56 betrugen. Auch hier zeigten sich zwischen den Korrelationskoeffizienten der Arbeitspulssummen mit den Körperdaten und auch zwischen denen der Erholungspulssummen und den Körperdaten signifikante Unterschiede. Sonst waren aber keine signifikanten Differenzen mehr zu verzeichnen.

Tabelle 15

Differenz zwischen den gefundenen Korrelationskoeffizienten
gemeinsam für Jungen und Mädchen.
(Prüfung der Korrelationsunterschiede über die z -Transformation).

	Alter			Diff. $s_1 s_2$			Körpergröße			Diff. $s_2 s_3$			Körpergewicht			Diff. $s_3 s_4$			Körperoberfläche			Diff. $s_1 s_4$		
	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n	$\bar{x}$	s	n
APS $\sigma_{\mu} \varphi$	-0,69	0,848	195				-0,73	0,928	194	(0,153)			-0,65	0,775	194	(0,073)			-0,69	0,848	194	(0,000)		
APS:EPS	0,376 ^{XX}			0,494 ^{XX}			0,387 ^{XX}			0,400 ^{XX}														
EPS $\sigma_{\mu} \varphi$	-0,44	0,472	195				-0,45	0,434	194	(0,057)			-0,37	0,388	194	(0,071)			-0,42	0,448	194	(0,024)		
EPS:EPS	(0,280)			(0,341)			(0,245)			(0,277)														
EPS $\sigma_{\mu} \varphi$	-0,63	0,775	195				-0,65	0,775	194	(0,142)			-0,56	0,633	194	(0,092)			-0,62	0,725	194	(0,050)		
APS:EPS	(0,073)			(0,153)			(0,142)			(0,123)														

cc) Die Abhängigkeit der Pulssummen von der Reifeentwicklung

Da von manchen Autoren, darunter vor allem KIRCHHOFF (11) die Meinung vertreten wird, daß man Jugendliche bei Arbeitsversuchen nicht nach Alters-, sondern nach Reifegruppen aufgliedern solle, haben wir die Abhängigkeit der Arbeitspulssumme, der Erholungspulssumme und der Gesamtpulssumme zur Reifeentwicklung statistisch überprüft.

Die Tabelle 16 gibt die Mittelwerte der Arbeitspulssummen der jeweiligen Reifestufen nach SCHMIDT-VOIGT bei einer Arbeit von 5 mkp/sec über 10 Minuten wieder. Wie daraus ersichtlich, nahm mit zunehmender Reife die Arbeitspulssumme ab. Nur die Gruppe KP der Mädchen hatte eine niedrigere Arbeitspulssumme als die Gruppe P. Wir prüften auch die Zufallswahrscheinlichkeiten aller Differenzen. Dabei ergab sich bei den Jungen ein sehr signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen der "Kinder" und der "kindlich-pubeszenten", sowie eine sehr signifikante Differenz zwischen den Gruppen P und PR. Die Mädchen wiesen ebenfalls bei den "Kindern" und den "kindlich-pubeszenten" einen signifikanten Unterschied auf. Die Arbeitspulssummen der Mädchengruppen P und PR waren wahrscheinlich signifikant unterschieden.

Bei den entsprechenden Gruppen der Jungen und Mädchen zeigte sich mit Ausnahme der Stufen KP und P eine signifikante Differenz. Die beiden Gruppen der "Pubescent-reifen" sowie die der "Reifen" waren sogar sehr signifikant voneinander unterschieden.

Aus Tabelle 17 sind weiter die Mittelwerte der Erholungspulssummen zu ersehen. Daraus geht hervor, daß es eigentlich zu keinem linearen Abfall der Erholungspulssumme mit zunehmender Reifeentwicklung kommt. So war die Erholungspulssumme der männlichen Gruppe KP niedriger als die der Gruppe P. Bei den beiden Gruppen PR und R zeigte die Gruppe der jüngeren Entwicklungsstufe ebenfalls ein besseres Ergebnis. Bei den Mädchen hatten nur die mit der Reifestufe KP eine

Tabelle 16

Mittlere Werte der Arbeitspulssumme in verschiedenen Reifegruppen (nach Schmidt-Voigt).

	K			Diff. K:KP	KP			P			Diff. P:PR	PR			Diff. PR:R	R		
	AM	♂	n		AM	♂	n	AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n
♂	531	96	28	111 ^x	420	88	10	418	76	20	121 ^{xx}	297	58	16	(25)	272	48	22
Diff. ♂:♀	67 ^x				(67)			(72)				139 ^{xx}				96 ^{xx}		
	AM	♂	n		AM	♂	n	AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n
♀	598	75	19	111 ^x	487	48	6	490	141	7	(54)	436	107	19	(68) ^x	368	99	27

{ } = nicht signifikant
 x = wahrscheinlich signifikant
 x = signifikant
 xx = sehr signifikant

Tabelle 17

Mittlere Werte der Erholungspulssumme in verschiedenen Reifegruppen (nach Schmidt-Voigt).

	K			KP			P			PR			R		
	AM	♂	n	AM	♂	n	AM	♂	n	AM	♂	n	AM	♂	n
♂	102	77	28	67	41	10	81	65	20	25	20	16	33	24	22
			(35)			(14)			56 ^x			(8)			
Diff. ♂:♀	123 ^{xx}			(41) ^x			(47)			95 ^{xx}			(37) ^x		
	AM	♂	n	AM	♂	n	AM	♂	n	AM	♂	n	AM	♂	n
♀	225	103	19	108	47	6	128	75	7	120	130	19	70	84	27
			117 ^x			(207)			(8)			(50)			

{ } = nicht signifikant
 x = wahrscheinlich signifikant
 xx = sehrsignifikant.

Mittlere Werte der Gesamtpulssumme in verschiedenen Reifegruppen (nach Schmidt-Voigt).

	K			Diff, K:KP	KP			Diff. KP:P	P			Diff. P:PR	PR			Diff. PR:R	R		
	AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n		AM	♂	n
♂	639	149	28	154 ^x	485	128	10	(55)	430	98	20	99 ^x	331	61	16	304	56	22	
Diff. ♂:♀	184 ^{xx}				(115) ^x				235 ^{xx}				221 ^{xx}				144 ^{xx}		
♀	823	153	19	223 ^x	600	85	6	(65)	665	174	7	(113)	552	223	19	448	64	27	

{ } = nicht signifikant
 { }^x = wahrscheinlich signifikant
 { }^x = signifikant
 { }^{xx} = sehr signifikant

geringere Erholungspulssumme als die Gruppe P. Inwieweit diese Ergebnisse von der kleinen Anzahl von Probanden in manchen Reifegruppen beeinflusst wird, möge dahingestellt bleiben. Dies könnte bei anderer Gelegenheit eigens nachgeprüft werden.

Bei einer Berechnung der Signifikanz ergab es zwischen den beiden Gruppen K der Jungen und Mädchen und zwischen den beiden Gruppen PR einen sehr signifikanten Unterschied. Während die Gruppen KP und R der Jungen und Mädchen wahrscheinlich signifikant verschieden waren, zeigte sich bei den beiden Gruppen P keine Signifikanz.

Tabelle 18, die die Mittelwerte der Gesamtpulssummen wiedergibt, zeigt wiederum deutlich die fallende Tendenz der Gesamtpulssumme mit zunehmender Reife auf. So hatten die "Kinder" mit einer Gesamtpulssumme von 639 bzw. 823 einen weit höheren Wert erreicht als die Probanden, die der "reifen" Entwicklungsstufe zugehörten, mit einer Gesamtpulssumme von 304 bzw. 448. Der geringere Gesamtpulssummenwert der "kindlich-pubeszenten" Mädchen als der derjenigen, die sich schon in der Pubertät befanden, dürfte seine Ursache wiederum in der sehr geringen Probandenzahl dieser Vergleichsgruppen haben.

Da die körperliche Entwicklung, wie sie sich in den Änderungen der Körpergröße, des Körpergewichts und der Körperoberfläche ausdrückt, eine Funktion der Reifeentwicklung ist, wird verständlich, daß sich aus dieser Betrachtungsweise keine grundsätzlich neuen Gesichtspunkte ergeben.

3) Diskussion der Ergebnisse

Unsere Untersuchungen zeigen, daß die Pulsfrequenz bei gleichschwerer Arbeit umso stärker ansteigt, je jünger die Kinder sind und bestätigen damit die Beobachtungen von NÖCKER und BÖHLAU (26), BENGTTSSON (3), sowie RUTENFRANZ und HETTINGER (30). In Übereinstimmung mit den Befunden dieser Autoren steht auch die Tatsache, daß der Pulsanstieg in gleichen Altersgruppen bei Jungen jeweils geringer war als bei Mädchen.

Beim Vergleich des Pulsverhaltens derselben Kinder während Arbeit mit kontinuierlicher bzw. gleichbleibender Belastung konnten wir zeigen, daß insbesondere jüngere Kinder bei Arbeit von 5 mkp/sec am Fahrradergometer einen erheblichen "Ermüdungspulsanstieg" im Sinne von MÜLLER (20) aufwiesen. Dieser Befund klärt die von verschiedenen Autoren gemachte (BENGTTSSON (3), MELLEROWITZ und LERCHE (19) u.a.) Beobachtung, daß die Pulsfrequenz von Kindern auch bei "submaximaler" Arbeit kein "steady-state" erreicht, sondern nach dem anfänglich großen Anstieg der Pulsfrequenz am Arbeitsanfang weiterhin in geringerem Ausmaße stetig ansteigt. Nach MÜLLER kommt ein solcher Ermüdungsanstieg der Pulsfrequenz dann zustande, wenn der Sauerstoffbedarf aller an der Arbeit beteiligten Muskeln nicht mehr gedeckt werden kann. Wir können darum vermuten, daß die Dauerleistungsgrenze bei Kindern von 10 Jahren unter einer Belastung von 5 mkp/sec liegen muß und auch die 18-jährigen einer Dauerbeanspruchung von 5 mkp/sec im Mittel noch nicht voll gewachsen sind.

Dieses altersspezifische Verhalten der Pulsfrequenz bei konstanter Arbeitsschwere kann man zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit entsprechend den Vorschlägen von NÖCKER und BÖHLAU (26) benutzen. Auch bei unseren Untersuchungen zeigte sich, daß die Summe aller Pulsschläge über dem Ruhepuls während der Arbeit deutliche Alters- und Geschlechtsunterschiede aufwies. Die dabei von uns

ermittelten Werte lassen sich nicht direkt mit den Befunden von NÖCKER und BÖHLAU vergleichen, da hier andere Altersgruppierungen vorgenommen wurden. Die Größenordnung der ermittelten Pulssummen stimmten aber in guter Annäherung mit den Werten der vorgenannten Autoren überein.

Während NÖCKER und BÖHLAU nur die Beziehung zwischen Arbeitspulssummen und Lebensalter prüften, bezogen wir auch die körperliche Entwicklung in die Beurteilung mit ein. Hierbei fanden wir eine enge Korrelation des Leistungsverhaltens zur körperlichen Entwicklung, wie sie in den Körpermaßdaten: Körperlänge, Körpergewicht und Körperoberfläche zum Ausdruck kommt. Auch bei einer qualitativen Gruppierung unseres Untersuchungsgutes nach der Entwicklung der sekundären Geschlechtsmerkmale ließen sich deutliche Beziehungen des Leistungsverhaltens zur körperlichen Entwicklung nachweisen.

Während somit das Pulsverhalten bei Arbeit in enger Beziehung zum Alter und zur körperlichen Entwicklung stand, zeigte das Pulsverhalten in der Erholungsphase keine so eindeutige Richtungstendenzen. Zwar beobachteten wir ebenso wie NÖCKER und BÖHLAU eine Abnahme der Erholungspulssumme mit zunehmendem Lebensalter, doch war die Streuung dieser Beziehung außerordentlich groß. Die Größe der Streuung ließ sich auch nicht dadurch vermindern, wenn man das Verhalten der Pulsfrequenz in der Restitutionsphase auf den Entwicklungsstand bezog.

Um dieses Verhalten näher zu analysieren haben wir aus unserem Untersuchungsgut die Abhängigkeit der Erholungspulssumme von der Arbeitspulssumme zusammengestellt. Wie die Abbildung 9 zeigt, ergibt sich daraus im Mittel eine geometrisch progressive Abhängigkeit zwischen beiden Größen und es war auffällig, daß die Streuung der Arbeitspulssumme, insbesondere für niedrige Erholungspulssummen besonders groß waren.

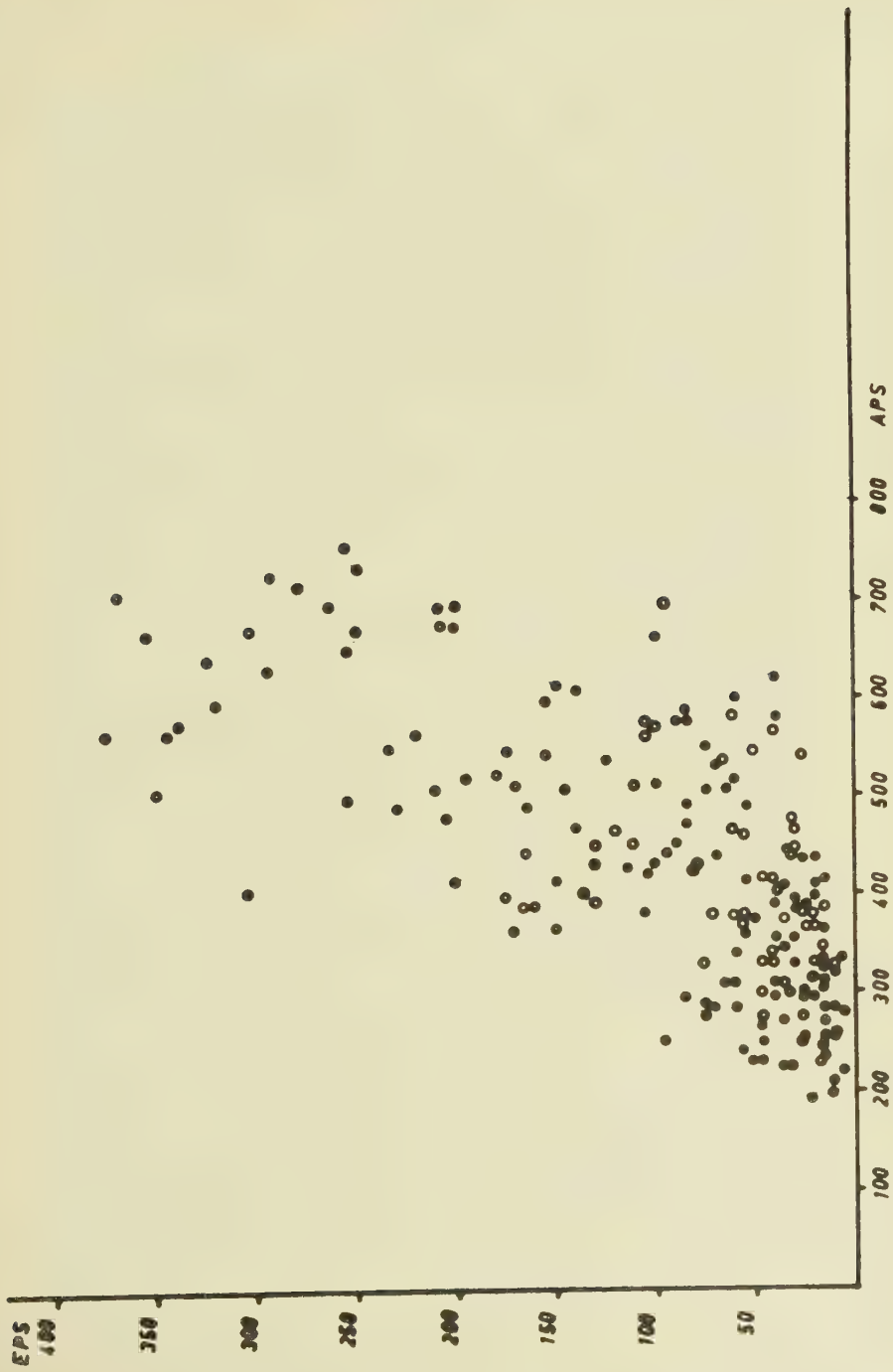


Abbildung 9 Beziehung zwischen den Werten der Erholungspulssumme und den Werten der Arbeitspulssumme der gefundenen Versuchspersonen.

Wir möchten daraus den Schluß ziehen, daß sich das Verhalten der Pulsfrequenz in der Restitutionsphase nur wenig zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit von Kinder und Jugendlichen eignen kann. Von daher erscheint uns der Aussagewert von Funktionsproben, bei denen das Pulsverhalten nach Arbeitsende als wesentliches Kriterium zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit angesehen wird, wie bei den Verfahren von MASTER (17), SCHNEIDER (33), GALLAGHER und BROUHA (6), HETTINGER und RODAHL (8), sowie SCHELLONG (31), zumindest bei Kindern und Jugendlichen sehr gering zu sein.

Obschon der Arbeitsversuch mit konstanter Arbeitsschwere somit zur Klärung theoretischer Fragen auch im Kindes- und Jugendalter gut geeignet ist, eignet er sich nur wenig für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit Heranwachsender. Dies gilt insbesondere dann, wenn man das Pulsverhalten nach Arbeitsende mit in die Beurteilung einbezieht. Hier dauert der Versuch insbesondere für jüngere Kinder zu lange, die dann leicht die Geduld verlieren.

Darüberhinaus konnte R.HOCKE (9) bei seinen vergleichenden Untersuchungen über den Wert verschiedener Indices zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit von Kindern und Jugendlichen zeigen, daß der Aussagewert der "Arbeitspulssumme" und der "Gesamtpulssumme" praktisch mit der Beurteilung durch den Leistungspulsindex nach MÜLLER (20) identisch ist. Da dieses Verfahren aber nach den Untersuchungen von RUTENFRANZ und HETTINGER (30) auch im Kindesalter leicht anzuwenden ist, dürfte ihm darum der Vorzug zu geben sein.

IV. Zusammenfassung

Nach einem kurzen Einblick in die Literatur zur Frage des Verhaltens der Pulsfrequenz bei Arbeit von Kindern und Jugendlichen wird über Methoden zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit mit Hilfe von Pulsfrequenzmessungen berichtet. Diese Literaturübersicht ergab, daß das Verhalten der Pulsfrequenz sich zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit von Kindern und Jugendlichen nur dann eignet, wenn man definierte Belastungsformen verwendet. Weiter war aus den vorliegenden Beobachtungen in der Literatur zu entnehmen, daß bei Kindern der Anstieg der Pulsfrequenz auf den endgültigen Wert und der Abfall zu den Ruhewerten nach Arbeitsende nur zögernd erfolgt.

Aus diesem Grunde schien es sinnvoll, nicht nur das Verhalten der Pulsfrequenz zu einem bestimmten Zeitpunkt während oder nach der Arbeit zur Charakterisierung des Leistungsverhaltens zu benutzen, sondern die Summe aller Pulsschläge über dem Ruhepuls während der Arbeit (Arbeitspuls-summe) und in der Restitutionsphase (Erholungspuls-summe), entsprechend den Vorschlägen von KARRASCH und MÜLLER bzw. NÖCKER und BÖHLAU zu verwenden.

Unter Berücksichtigung dieser theoretischen Voraussetzung wurden rund 200 Arbeitsversuche bei einer Belastung von 5 mkp/sec über 10 Minuten Dauer am Fahrradergometer an insgesamt 96 Jungen und 99 Mädchen im Alter zwischen 10 und 18 Jahren durchgeführt, wobei wir die Pulsfrequenz nach Arbeitsende so lange kontinuierlich auf photoelektrischem Wege bestimmten, bis die Ruhewerte vor Arbeitsbeginn erreicht wurden. Bei diesen Versuchen stieg die Pulsfrequenz um so höher an, je jünger die Kinder waren; in gleichen Altersstufen lagen die Pulswerte bei Mädchen ab der Präpubertät deutlich über denen der Jungen. In allen Altersstufen beobachteten wir bis zum Arbeitsende einen kontinuierlichen Anstieg der Pulsfrequenz. Ein echtes "steady state" konnten wir also im Mittel in keiner Altersstufe registrieren.

Um die Ursache dieses Phänomens zu klären, errechneten wir für alle Altersgruppen unter Berücksichtigung ihres Leistungs-pulsindex und des Sauerstoff-Verbrauches die "optimale Pulsfrequenz" für die von uns verlangte Arbeit. Dabei ergab sich; daß der Pulsanstieg über diese Optimalfrequenz hinaus (Ermüdungspulsanstieg) um so grösser war, je jünger die Kinder waren.

Neben diesen Beobachtungen bemühten wir uns, Normwerte für das Pulsverhalten von Kindern und Jugendlichen zu gewinnen. Dabei bezogen wir die ermittelten Pulssummen sowohl auf das Lebensalter als auch auf die körperliche Entwicklung unter Verwendung der Parameter Körpergröße, Körpergewicht, Körperoberfläche und Reifeentwicklung. Die statistische Analyse unserer Beobachtungen mit Hilfe von Korrelationsberechnungen ergab einen besonders engen Zusammenhang zwischen der Körpergröße und dem Pulsverhalten bei Arbeit.

Auf Grund unserer Untersuchungen empfiehlt sich als bestes Maß zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit das Pulsverhalten während der Arbeit (Arbeitspulssumme), während das Pulsverhalten in der Erholungsphase (Erholungspulssumme) eine deutlich losere Beziehung zur körperlichen Entwicklung und zum Leistungsverhalten aufwies. Die praktischen Konsequenzen unserer Untersuchungen für die Beurteilung des Leistungsverhaltens im Kindesalter wurden diskutiert.

Literaturverzeichnis

1. Asmussen, E. u. Nielsen, M.: Cardiac output and work determined simultaneously by acetylene and dye injection methods.
Acta physiol. Scand. 27, 217 (1953)
2. Bach, F.: Ergebnisse von Massenuntersuchungen über die sportliche Leistungsfähigkeit und das Wachstum Jugendlicher in Bayern.
Limpert, Frankfurt (1955)
3. Bengtsson, E.: The working capacity in normal children, evaluated by submaximal exercise on the bicycle ergometer and compared with adults.
Acta med. Scand. 154, 91 (1956)
4. Christensen, E.H.: Die Pulsfrequenz während und unmittelbar nach der Arbeit.
Arbeitsphysiologie 4, 453, 470 (1931)
5. Cullumbine, H.; Bibile, S.W.; Wikramanayake, T.W. u. Watson, R.S.: Influence of age, sex, physique and muscular development on physical fitness.
J. appl. Physiol. 2, 488 (1950)
6. Gallagher, J.R. u. Brouha, L.: Dynamic physical fitness in adolescence. I. Absolute physical efficiency
Yale J. Biol. 15, 657 (1943)
7. Graser, E.: Die Diagnose des Schulkindes
Schulärztliche Fragen, Thieme/Stuttgart 6, 58 (1957)
8. Hettinger, Th. u. Rodahl, K.: Ein modifizierter Stufentest zur Messung der Belastungsfähigkeit des Kreislaufs.
Dtsch. Med. Wschr. 85, 553 (1960)
9. Hocke, R.: Diss. München (1961)
10. Karrasch, K. u. Müller, E.A.: Das Verhalten der Pulsfrequenz in der Erholungsperiode nach körperlicher Arbeit
Arbeitsphysiologie 14, 369 (1951)
11. Kirchhoff, H.W.: Untersuchungen über die Kreislaufregulation der Kinder und Jugendlichen.
Ärztliche Jugendkunde 52, 129 (1960)
12. Kirchhoff, H.W.; Reindell, H. u. Hauswaldt, Ch.: Untersuchungen zur Beurteilung der Leistungsbreite im Reifungsalter.
Z. Kinderheilk. 81, 211 (1958)
13. Koller, S.: Graphische Tafeln zur Beurteilung statistischer Zahlen.
Steinkopff Verlag, Darmstadt (1953)
14. Kraut, H.; Zimmermann, H.; Böhm, M. u. Keller, W.: Untersuchungen über den Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsel bei körperlicher Arbeit. I. Das Verhalten des respiratorischen Quotienten bei Arbeit ohne vorhergehende Nahrungsaufnahme.
Intern. Z. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol. 16, 409 (1957)

15. Lehmann, G. u. Szakall, A.: Vergleichende anthropometrische und funktionelle Untersuchungen an Jugendlichen.
Arbeitsphysiologie 11, 259 (1941)
16. Lundgren, N.V.P.: The physiological effects of time schedule work and lumberworkers.
Acta physiol. Scand. (Stockh.) 13, Suppl. 41 (1946)
17. Master, A.N. u. Oppenheimer, E.T.: A simple exercise tolerance test for circulatory efficiency with standard tables for normal individuals.
The American Journal of the Medical Sciences 177, 223 (1929)
18. Mathes, K.: Kreislaufuntersuchungen am Menschen mit fortlaufend registrierenden Methoden.
Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1951
19. Mellerowicz, H. u. Lerche, D.: Ergometrische Untersuchungen zur Beurteilung der kardialen und körperlichen Leistungsfähigkeit bei Kindern und Jugendlichen.
Zschr. Kinderheilk. 81, 36 (1958)
20. Müller, E.A.: Ein Leistungs-Puls-Index als Maß der Leistungsfähigkeit.
Arbeitsphysiologie 14, 271 (1950)
21. Müller, E.A.: Radmarkt 4, 13 (1952)
22. Müller, E.A. u. Himmelmann, W.: Geräte zur kontinuierlichen photoelektrischen Pulszählung.
Arbeitsphysiologie 16, 400 (1957)
23. Müller, E.A. u. Himmelmann, W.: Die Anwendung der photoelektrischen Pulszähler.
Methoden des Max-Planck-Instituts für Arbeitsphysiologie, Dortmund, als Manuskript gedruckt (1957)
24. Morse, M.; Schlutz, F. u. Cassels, D.: Relation of age to physiological responses of the older boy (10 - 17 years) to exercise.
J. appl. Physiol. 1, 683 (1949)
25. Nitsch, K.: Untersuchungen über die Kreislaufregulation bei organisch gesunden Kindern.
Mschr. Kinderhk. 98, 296 (1948/49)
26. Nöcker, J. u. Böhlau, V.: Abhängigkeit der Leistungsfähigkeit von Alter und Geschlecht.
Münchn. Med. Wschr. 46, 1517 (1955)
27. Ohr, A. u. Parade, O.W.: Untersuchungen über den Einfluß körperlicher Belastungen auf den Kreislauf:
2. Mitteilung. Das Verhalten des arteriellen Blutdrucks und der Herzfrequenz nach Körperarbeit beim gesunden Untrainierten.
Zschr. klin. Med. 143, 252 (1943)
28. Rieger, H.: Beurteilung des Kreislaufes bei Jugendlichen
Arch. Kinderhk. 118, 123 (1939)

29. Rotschuh, K.E.: Die Regulationsprüfung des Kreislaufs.
Eine einfache Kreislauffunktionsprobe.
Münchn. med. Wschr. 50, 1974 (1937)
30. Rutenfranz, J. u. Hettinger, Th.: Untersuchungen
über die Abhängigkeit eines Leistungs-Puls-Index von
Lebensalter, Geschlecht und körperlicher Entwicklung.
Zschr. Kinderhk. 83, 65 (1959)
31. Schellong, F.: Regulationsprüfung des Kreislaufs.
Steinkopff. Dresden und Leipzig (1938)
32. Schmidt-Voigt, J.: Das Körperbild im Reifungsalter.
Erg. inn. Med. 64, 995 (1945)
33. Schneider, E.: A cardiovascular rating as a measure of
physical fatigue and efficiency.
J. Amer. Med. Ass. 74, 1507 (1920)
34. Schneider, E.C. u. Crampton, C.B.: The cardiovascular
responses of pre-adolescent boys to muscular activity.
Amer. J. Physiol. 114, 473 (1936)
35. Vogt, D.: Über den gegenwärtigen Stand der Akzeleration
in Bayern.
Arch. Kinderhk. 159, 141 (1959)
36. Wahlund, H.: Determination of physical working capacity
Acta med, Scand. suppl. 215 (1948)

N a c h w o r t

Vorliegende Arbeit ist das Werk gemeinsamer Bemühungen.

Es ist mir ein Anliegen, Herrn Professor Dr. med.
Th. H e l l b r ü g g e für die Überlassung des Themas
sowie für die freundliche Unterstützung bei den Ver-
suchen vielmals Dank zu sagen.

Herrn Professor Dr. med. G. W e b e r, dem Direktor der
Universitäts-Kinderpoliklinik möchte ich für die Über-
nahme des Referates dieser Arbeit danken.

Es ist mir ein besonderes Anliegen, Herrn Dr. med. Dr. phil.
J. R u t e n f r a n z für seinen unermüdlichen Rat bei
der Durchführung der Untersuchungen und bei der statistischen
Auswertung der Ergebnisse herzlichst zu danken.

Fräulein Dr. med. E. K e i l h a c k e r möchte ich für
die gute kollegiale Zusammenarbeit bei der Ausführung
der in einem größeren Rahmen durchgeführten gemeinsamen
Untersuchungsreihe meinen herzlichen Dank aussprechen.

Bei Fräulein I. R e i f f möchte ich mich für die freund-
licherweise übernommene Anfertigung der Zeichnungen viel-
mals bedanken.

VI. Lebenslauf

=====

Am 10. Januar 1934 wurde ich als zweites von fünf Kindern des Regierungsrats Dr. Ernst Hocke und seiner Ehefrau Maria Hocke, geborene Rosenberg, geboren.

Die Volksschule besuchte ich von Herbst 1940 bis Herbst 1944 in Kattowitz. Anschließend trat ich in das dortige humanistische Gymnasium ein. Infolge der Kriegs- bzw. Nachkriegsereignisse war mir in der Zeit von Januar 1945 bis März 1946 ein Schulbesuch nicht möglich. 1946 besuchte ich die Oberschule in Nordhorn, Grafschaft Bentheim. Bedingt durch den Wohnungswechsel meiner Familie war ich anschließend noch Schüler der Oberschule Wasserburg/Inn, sowie der Luitpold-Oberrealschule, München. An dieser legte ich 1954 meine Reifeprüfung ab.

Von 1954 bis 1960 studierte ich an der Münchener Ludwigs-Maximilians-Universität Medizin. Die ärztliche Vorprüfung bestand ich im Frühjahr 1957. Das Studium beendete ich im Sommer 1960 nach dem 11. Semester mit dem medizinischen Staatsexamen.

Das erste halbe Jahr meiner Medizinalassistentenzeit verbrachte ich auf der medizinischen Abteilung des Krankenhauses des Dritten Ordens in München-Nymphenburg. Seit dem 1. April 1961 leiste ich im Städtischen Krankenhaus Wasserburg/Inn meine chirurgische Medizinalassistentenzeit ab.

